

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Customer Number 22,852
Attorney Docket No. 05788.0183

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Inventors: Giovanni BRANDI et al.)

Serial No.: 09/937,653)

Group Art Unit: 2874)

Filed: January 18, 2002)

For: OPTICAL CABLE FOR
TELECOMMUNICATIONS)

Assistant Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

CLAIM FOR PRIORITY

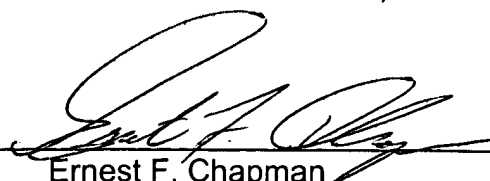
Under the provisions of Section 119 of 35 U.S.C., applicants hereby claim the benefit of the filing date of European Patent Application No. 99106565.7, filed March 31, 1999, for the above identified United States Patent Application.

In support of applicants' claim for priority, filed herewith is one certified copy of the above.

Respectfully submitted,

FINNEGAN, HENDERSON, FARABOW,
GARRETT & DUNNER, L.L.P.

Dated: April 4, 2002

By: 
Ernest F. Chapman
Reg. No. 25,961

FINNEGAN
HENDERSON
FARABOW
GARRETT &
DUNNER LLP

1300 I Street, NW
Washington, DC 20005
202.408.4000
Fax 202.408.4400
www.finnegan.com

RECEIVED
APR 15 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office eur péen
des brevets



Beschreibung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

99106565.7

RECEIVED
APR 15 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

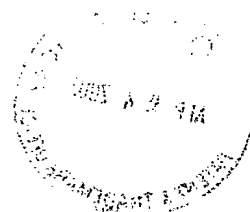
Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

I.L.C. HATTEN-HECKMAN

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE, 06/04/00
LA HAYE, LE





Eur päisches
Patentamt

Eur pean
Patent Office

Office eur péen
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:
Application no.: 99106565.7
Demande n°:

Anmeldetag:
Date of filing: 31/03/99
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
PIRELLI CAVI E SISTEMI S.p.A.
20126 Milano
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:
Optical cable for telecommunications

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:
G02B6/44

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks: The original title of the application in Italian reads as follows : Cavo ottico per telecomunicazioni
Remarques:

CAVO OTTICO PER TELECOMUNICAZIONI

La presente invenzione si riferisce ad un cavo ottico per telecomunicazioni, in particolare un cavo ottico sottomarino per sistemi di telecomunicazione multi-lunghezza d'onda a lunga distanza e ad alta velocità di trasmissione.

Un cavo ottico adatto ad applicazioni sottomarine comprende tipicamente un nucleo ottico in cui sono inglobate una pluralità di fibre ottiche per la trasmissione di segnali ottici e uno o più rivestimenti esterni di rinforzo e protezione. Il nucleo ottico può essere vantaggiosamente del tipo comprendente un elemento centrale di supporto e, attorno ad esso, uno o più strati di materiale polimerico in cui sono inglobate in posizione fissa le fibre ottiche.

Nel caso di applicazioni sottomarine, il cavo deve essere in grado di operare in condizioni ambientali gravose, in particolare deve essere in grado di resistere a pressioni molto elevate e all'azione di agenti corrosivi. Inoltre, il cavo deve essere in grado di resistere alle elevate sollecitazioni meccaniche, in particolare di trazione e di flessione, a cui è sottoposto durante le operazioni di posa in mare e di recupero. Gli sforzi generati all'interno del cavo in seguito a tali sollecitazioni possono essere trasmessi alle fibre ottiche e provocare effetti negativi in termini di attenuazione dei segnali trasmessi.

In passato sono state proposte diverse configurazioni di cavo ottico adatto ad applicazioni sottomarine.

Il brevetto US 4,744,935 a nome Società Cavi Pirelli S.p.A propone un cavo la cui struttura comprende preferibilmente, nella posizione radialmente più interna, una corda resistente a trazione o simile, inglobata in un corpo di materiale polimerico nel quale sono annegate fibre ottiche disposte in una protezione di tipo lasco. Tali fibre ottiche sono disposte attorno alla corda secondo eliche aperte, ossia secondo traiettorie con tratti con un primo verso di avvolgimento alternati a tratti con opposto verso di avvolgimento.

Il brevetto US 4,541,970 a nome AT&T BELL LAB propone un metodo per fabbricare il nucleo di un cavo per comunicazioni sottomarine che prevede di estrudere un primo strato di elastomero termoplastico attorno ad un elemento di

- 2 -

rinforzo precedentemente riscaldato, disponendo le fibre ottiche ad elica, con una tecnica di "moto planetario", sul primo strato di elastomero, ed estrudendo sul primo strato di elastomero un secondo strato di materiale elastomerico. L'avvolgimento delle fibre ottiche secondo la tecnica del "moto planetario" è

5 realizzato mediante una apparecchiatura formata da una gabbia rotante a cui sono associate le bobine portanti le fibre ottiche nonché apposite guide per dirigere le fibre ottiche dalla gabbia all'estrusore. In particolare, le bobine di svolgimento delle fibre ottiche sono supportate in maniera tale che, quando la gabbia ruota, mantengono i propri assi paralleli ad una direzione fissa. Con tale

10 tecnica, nelle fibre ottiche viene indotta una torsione particolarmente ridotta.

Nel brevetto US 4,902,097 a nome STC PLC, viene proposta una ulteriore tecnica per produrre un cavo ottico, comprendente le fasi di estrudere uno strato di elastomero termoplastico attorno ad un elemento centrale, di riscaldare tale superficie oltre il suo punto di fusione, di inglobare una pluralità di

15 fibre ottiche in tale superficie e di estrudere un secondo strato di elastomero termoplastico per coprire le fibre. In questo caso le fibre ottiche sono inglobate parzialmente nel primo strato e parzialmente nel secondo strato di elastomero. Le fibre ottiche hanno giacitura con angolo di avvolgimento pari a zero, ossia sono disposte parallele fra loro e all'asse centrale del cavo.

20 Nel brevetto US 4,832,441 a nome STC PLC viene proposto un cavo ottico adatto ad applicazioni sottomarine, avente un filamento centrale ed una pluralità di fibre ottiche rivestite di acrilato ed inglobate in uno strato di materiale plastico a basso punto di fusione ottenuto con un singolo processo di estrusione, ossia con una tecnica di "singolo passaggio" ("one-shot operation").

25 Anche in questo caso, le fibre ottiche sono disposte con un angolo di avvolgimento pari a zero.

Il brevetto US 5,440,659 a nome AT&T Corp., propone un metodo per fabbricare un cavo a fibre ottiche che prevede di applicare una torsione controllata a ciascuna delle fibre ottiche durante il processo di cablaggio. La

30 torsione applicata è uniforme lungo tutta la lunghezza della fibra ottica. Le fibre ottiche sono avvolte ad elica su un primo strato di materiale termoplastico estruso su un elemento centrale ed un ulteriore strato di materiale termoplastico

- 3 -

5 è struso sulle fibre ottiche. Per realizzare l'avvolgimento ad elica delle fibre ottiche viene utilizzata una gabbia rotante simile a quella del brevetto US 4,541,970 già citato, in cui però le bobine che portano le fibre ottiche sono o solidali con la gabbia stessa o girevoli in modo controllato, per controllare la torsione applicata alla fibre ottiche durante il processo di fabbricazione del nucleo ottico.

10 La domanda di brevetto GB 2,303,938 a nome STC Submarine Systems Limited è relativa ad un cavo a fibre ottiche e al relativo metodo di fabbricazione. Il metodo proposto prevede di estrarre uno strato di elastomero termoplastico attorno ad un elemento centrale, provocare l'indurimento (tramite raffreddamento) dello strato di elastomero, depositare una pluralità di fibre ottiche lungo l'elastomero indurito e estrarre un ulteriore strato di elastomero termoplastico sopra le fibre ottiche. Le fibre ottiche possono essere torte attorno al proprio asse e/o avvolte ad elica attorno al primo strato prima dell'estrazione dell'ulteriore strato. Tali torsione e/o avvolgimento possono essere continui oppure alternati con un angolo predeterminato.

La tecnica di depositare le fibre ottiche su uno strato di elastomero indurito verrà di seguito chiamata, per comodità di descrizione, "tecnica di deposizione tangenziale".

20 La Richiedente ha osservato che i cavi realizzati con i procedimenti noti precedentemente descritti presentano problemi in termini di attenuazione di segnale e/o in termini di dispersione dei modi di polarizzazione ("PMD").

25 L'attenuazione di potenza ottica dei segnali all'interno delle fibre ottiche è un problema particolarmente importante nei sistemi di telecomunicazione ottica a lunga distanza. In tali sistemi, per garantire la corretta ricezione dei segnali, si rende necessario utilizzare amplificatori di segnale disposti a distanze prestabilite l'uno dall'altro (ad esempio a distanze di alcune centinaia di chilometri). Tali amplificatori di segnale sono tipicamente amplificatori ottici del tipo a fibra attiva, preferibilmente con una banda di amplificazione sostanzialmente piatta nella banda di trasmissione. In un sistema di
30 telecomunicazione multi-lunghezza d'onda, poiché l'attenuazione subita dal segnale nel cavo ottico è funzione della lunghezza d'onda, gli amplificatori del

- 4 -

sistema di telecomunicazione ricevono generalmente un segnale non equalizzato. Per superare tale inconveniente, è noto utilizzare equalizzatori di segnale, disposti ad esempio negli amplificatori stessi o lungo la linea, per equalizzare la potenza ottica nei diversi canali di trasmissione (ogni canale avendo associata una rispettiva lunghezza d'onda).

Come è noto, per poter operare una equalizzazione corretta, occorre che la curva spettrale di attenuazione del cavo ottico abbia, nella banda di trasmissione, una inclinazione sostanzialmente costante e prevedibile. Generalmente, in un cavo per telecomunicazioni ottiche, le attenuazioni dei segnali trasmessi dipendono dallo stato degli sforzi presenti all'interno del cavo, generati ad esempio durante il processo di fabbricazione, durante lo svolgimento del cavo o durante altre operazioni effettuate sul cavo stesso. Inoltre, l'attenuazione dei segnali aumenta nel caso in cui siano presenti micro-piegature ("micro-bending") delle fibre ottiche all'interno del cavo stesso.

La Richiedente ha osservato che i cavi del tipo comprendente due strati di materiale estruso e una pluralità di fibre ottiche deposte sul primo strato con la tecnica della deposizione tangenziale (come descritto nella già citata domanda di brevetto GB 2,303,938) possono presentare problemi in termini di attenuazione, a causa di effetti di micro-curvatura ("micro-bending") delle fibre ottiche. La Richiedente ha infatti osservato che, durante l'estrusione del secondo strato sul primo strato, possono crearsi micro-cavità di aria fra le fibre ottiche e il primo strato estruso. La presenza di tali micro-cavità può dare luogo a spostamenti locali delle fibre ottiche e, quindi, può dare origine a micro-piegature delle fibre stesse. Poiché, come già accennato, le micro-piegature provocano una attenuazione dei segnali trasmessi, e poiché tale attenuazione è funzione della lunghezza d'onda, la curva spettrale di attenuazione subisce una variazione non trascurabile rispetto alla curva di attenuazione delle fibre ottiche prima della cablaggio. Tale variazione della curva spettrale di attenuazione dovuta al cablaggio costituisce uno svantaggio in quanto introduce una imprevedibilità delle prestazioni trasmissive del sistema non ipotizzabile durante la fase di progetto del sistema stesso. Pertanto, una variazione rilevante della curva di attenuazione conseguente al cablaggio può determinare un

- 5 -

comportamento indesiderato del sistema in termini di attenuazioni del segnale rendere poco efficiente l'equalizzazione dei segnali nel sistema stesso.

La Richiedente ha osservato che i cavi ottici possono presentare problemi anche in termini di PMD. La PMD di un segnale trasmesso in una fibra
5 ottica ha origine dalla differenza di velocità di gruppo con cui si propagano modi ortogonali del segnale stesso. Nel caso di un segnale digitale, tale differenza determina un allargamento dei bit trasmessi con conseguente degradazione del segnale.

La PMD in una fibra ottica cablata è funzione delle variazioni di forma
10 subite della fibra ottica per effetto del processo di cablaggio. In generale, se una fibra ottica ha subito localmente una sollecitazione, in tale zona si genera un ritardo locale fra i modi ortogonali di propagazione. La sommatoria dei ritardi introdotti lungo la fibra ottica determina la PMD.

Più in dettaglio, la Richiedente ha osservato che durante le diverse fasi
15 del processo di cablaggio, all'interno del cavo vengono indotte sollecitazioni radiali che si estendono per tutta la lunghezza del cavo stesso e che possono provocare deformazioni della sezione delle fibre ottiche. In particolare, durante il processo di produzione del nucleo ottico, all'interno di quest'ultimo vengono "congelate" tensioni che danno luogo ad uno stato di sollecitazione radiale
20 continua, sostanzialmente distribuita in modo uniforme, in senso angolare, sulla sezione del nucleo ottico stesso. Tale stato di sollecitazione causa una deformazione delle fibre ottiche e, quindi, un aumento della PMD. Un effetto analogo è causato dalle sollecitazioni radiali generate in fasi di lavorazione successive, come nella fase di pressurizzazione del nucleo ottico durante
25 l'usuale applicazione di una guaina in polietilene.

La Richiedente ha osservato che un ulteriore contributo all'aumento della PMD dovuto al cablaggio è fornito dai difetti geometrici di fabbricazione, in particolare all'effetto di ovalizzazione dei rivestimenti esterni di rinforzo e protezione.

30 In tal caso, le sollecitazioni agiscono radialmente ma non sono uniformemente distribuite in senso angolare, in quanto agiscono prevalentemente nella porzione laterale del cavo in cui sono concentrate i

- 6 -

deformazioni. Tali sollecitazioni possono agire sulle fibre ottiche in modo continuo o periodico, a seconda che le fibre siano disposte fra loro parallele oppure siano avvolte intorno all'elemento centrale. In quest'ultimo caso, l'effetto delle sollecitazioni può dipendere dalla periodicità di avvolgimento delle fibre ottiche stesse.

La Richiedente ha osservato che nel caso di cavi del tipo in cui le fibre ottiche sono inglobate in parte in un primo strato e in parte in un secondo strato polimerico (come descritto nel brevetto US 4,902,097 precedentemente citato), le sollecitazioni agenti sulle fibre ottiche durante l'estrusione del secondo strato sono tali da provocare una pressione laterale costante sulle fibre ottiche, con conseguente peggioramento delle caratteristiche trasmissive in termini di PMD.

Inoltre, in generale, la Richiedente ha osservato che, a causa delle diverse condizioni di estrusione e di raffreddamento a cui sono sottoposti i materiali dei due strati e a causa della presenza di possibili imperfezioni superficiali o di forma dello strato più interno dopo la sua estrusione, la tecnica di estrusione in due fasi successive comporta tipicamente la presenza di sforzi nella zona occupata dalle fibre ottiche. Un contributo a tali sforzi può essere fornito anche dal fenomeno di contrazione ("shrinkage") del materiale estruso che si ha durante il raffreddamento del materiale stesso o durante il raffreddamento che segue la deposizione ad alta temperatura di un rivestimento esterno al nucleo ottico.

L'unico tipo di cavo, fra quelli citati, avente un solo strato di materiale polimerico è quello descritto nel già citato brevetto US 4,832,441, in cui le fibre sono disposte parallele fra loro. La disposizione delle fibre parallele fra loro (come descritto anche nel già citato brevetto US 4,902,097) rappresenta uno svantaggio in termini di PMD in quanto, in tale configurazione, le fibre ottiche sono generalmente soggette ad uno stato di sollecitazione costante. Infatti, le sollecitazioni presenti durante il processo di fabbricazione e durante la fase di posa del cavo, come pure quelle dovute ad agenti esterni, agiscono sempre su una stessa generatrice di ciascuna fibra ottica. Tale fibra ottica diventa quindi birifrangente e si ha pertanto un peggioramento delle prestazioni in termini di PMD.

- 7 -

La Richiedente ha osservato che, nel caso in cui le fibre ottiche siano avvolte ad elica ma senza torsione (come descritto, ad esempio, nel già citato brevetto US 4,541,970), ossia con una propria generatrice diretta sempre lungo la stessa direzione, i suddetti problemi dovuti alle sollecitazioni risultano ridotti, ma contribuiscono ugualmente all'aumento della PMD. In tal caso, infatti, le sollecitazioni agiscono sulla stessa generatrice in modo periodico e provocano ancora una birifrangenza a tratti delle fibre ottiche (anche se minore del caso con fibre parallele), con un conseguente aumento della PMD.

Se l'avvolgimento delle fibre ottiche è del tipo ad elica "chiusa", ossia diretto sempre in uno stesso senso (come descritto, ad esempio, nel già citato brevetto US 5,440,659 a nome AT&T) ed è associato ad una torsione non nulla delle fibre ottiche, la Richiedente ha osservato che esiste un ulteriore svantaggio in termini di PMD. Tale tipo di avvolgimento determina infatti la presenza in ciascuna fibra ottica di una torsione elastica, la quale genera fotoelasticità e birifrangenza e tende, di conseguenza, a incrementare la PMD. Tale fenomeno è descritto, ad esempio, nell'articolo di A. J. Barlow, D. N. Payne, M. R. Hadley, R. J. Mandsfield, "Production of single-mode fibres with negligible intrinsic birefringence and polarisation mode dispersion", ELECTRONICS LETTERS, Vol. 17, N. 20, 1st Oct. 1981, pp. 725-726, in cui, in colonna 1, penultimo paragrafo, viene evidenziato come uno stress torsionale è presente in una fibra ottica sottoposta a torsione dopo la filatura e ciò determina una elevata birifrangenza circolare dovuta all'effetto fotoelastico.

Se, inoltre, l'angolo di torsione delle fibre ottiche viene imposto uguale all'angolo di avvolgimento delle fibre stesse attorno all'elemento centrale (come suggerito nel suddetto brevetto US 5,440,659), ciascuna fibra ottica risulta esposta alle sollecitazioni radiali sempre in corrispondenza di una stessa generatrice e ciò comporta un aumento non trascurabile della PMD. Anche in assenza di tale condizione (ossia nel caso di angolo di torsione diverso dall'angolo di avvolgimento), il fatto di avere un avvolgimento "uniforme" (ossia con velocità di avvolgimento costante) implica comunque una periodicità delle sollecitazioni su una stessa generatrice di una fibra ottica. Infine, il suddetto avvolgimento ad elica chiusa con torsione impone una sollecitazione meccanica

31-03-1999

EP99106565.7

SPEC

- 8 -

continua sulle fibre ottiche che può provocare un indebolimento strutturale delle fibre stesse.

La Richiedente ha trovato che un cavo avente un nucleo ottico in cui fibre ottiche sono avvolte, con torsione non nulla, secondo traiettorie ad elica "aperta" e sono inglobate completamente in uno strato di materiale polimerico 5 privo di discontinuità, presenta valori particolarmente ridotti di PMD e di attenuazione. Lo strato di materiale polimerico è privo di discontinuità in quanto ottenuto con un singolo processo di estrusione.

Qui e nel seguito, con traiettoria a elica "aperta", o traiettoria "SZ", si 10 intende una traiettoria su una superficie cilindrica risultante dalla combinazione di un moto traslatorio lungo una direzione parallela ad un asse centrale e di un moto rotatorio alternato attorno all'asse stesso. In pratica, tale tipo di traiettoria si differenzia da una traiettoria ad elica "chiusa" in quanto l'avvolgimento attorno all'asse centrale non avviene sempre nel medesimo senso, ma alternatamente 15 in senso orario e in senso anti-orario.

Con il cavo realizzato secondo l'invenzione, vengono eliminati gli inconvenienti presentati dai nuclei ottici in cui le fibre sono disposte fra due strati estrusi di materiale polimerico. Infatti, in termini di attenuazione del segnale, la presenza di un unico strato di materiale polimerico elimina il problema del 20 "micro-bending" delle fibre ottiche presente nei nuclei ottici prodotti con la tecnica della "deposizione tangenziale". In termini di PMD, la particolare disposizione delle fibre ottiche permette di ridurre gli inconvenienti precedentemente descritti con riferimento alle configurazioni a fibre parallele e ad elica "chiusa".

25 La Richiedente ha in particolare trovato che la disposizione delle fibre ottiche secondo un'elica "aperta" e con una torsione alternata all'interno di un unico strato di materiale polimerico rappresenta una condizione particolarmente vantaggiosa per quanto riguarda la PMD. Infatti, tale configurazione permette di avere una elevata casualità nella distribuzione sulla superficie delle fibre ottiche 30 delle sollecitazioni agenti sul cavo e, quindi, di ridurre le differenze di velocità di gruppo di modi ortogonali di segnale. Inoltre, la presenza di una torsione alternata permette di ridurre la PMD intrinseca della fibra ottica dipendente dall

- 9 -

imperfezioni geometriche del suo nucleo, senza allo stesso tempo influenzare negativamente gli effetti di fotoelasticità che, come già menzionato, possono indurre incrementi di PMD.

- 5 Il processo di produzione del cavo dell'invenzione, anch'esso oggetto della presente invenzione, risulta particolarmente semplice e veloce, in quanto richiede un unico processo di estrusione per la realizzazione del nucleo ottico, e risulta inoltre particolarmente economico, in quanto non richiede macchinari complessi come la gabbia della tecnica del "moto planetario".

- 10 Secondo un primo aspetto, la presente invenzione è relativa ad un procedimento per la realizzazione di un cavo ottico, comprendente la fase di inglobare almeno una fibra ottica in un materiale polimerico estruso a contatto con un elemento filiforme, caratterizzato dal fatto che detta fase di inglobare in un materiale polimerico comprende le fasi di:

- disporre detta fibra ottica secondo una traiettoria ad elica aperta, e
- 15 - applicare a detta fibra ottica una torsione locale massima compresa fra 0,05 giri/m e 1,5 giri/m, preferibilmente fra 0,1 giri/m e 1 giri/m.

Preferibilmente, a detta fibra ottica è applicata una torsione media nulla.

Detta fase di inglobare in un materiale polimerico comprende preferibilmente le fasi di:

- 20 - avanzare detto elemento filiforme attraverso una zona di estrusione lungo una direzione di avanzamento prestabilita;
- avanzare attraverso detta zona di estrusione detta fibra ottica a distanza prefissata da detto elemento filiforme, e
- alimentare in detta zona di estrusione detto materiale polimerico in
- 25 modo tale che detto materiale polimerico inglobi detto elemento filiforme e detta fibra ottica.

Preferibilmente, in detto materiale polimerico sono inglobate fibre ottiche in numero compreso fra 2 e 24.

- 30 Preferibilmente, detta fase di disporre ciascuna di dette fibre ottiche secondo una traiettoria ad elica aperta comprende la fase di impartire una torsione alternata a detto elemento filiforme.

- 10 -

Detta fase di avanzare attraverso detta zona di estrusione detta fibra ottica può comprendere le fasi di vincolare alla torsione detta fibra ottica a monte di detta zona di estrusione ad una distanza prestabilita da detta zona di estrusione e detta fase di applicare a detta fibra ottica una torsione locale

5 massima comprende la fase di regolare detta distanza di detto vincolo da detta zona di estrusione in funzione di detta torsione locale massima.

Preferibilmente, detta fase di impartire una torsione alternata a detto elemento filiforme comprende la fase di impartire a detto elemento filiforme una velocità angolare prestabilita e un angolo massimo di torsione prestabilito e

10 detta fase di avanzare detto elemento filiforme comprende la fase di traslare detto elemento filiforme con una velocità di avanzamento prestabilita, detta fase di applicare a detta fibra ottica una torsione locale massima comprende la fase di regolare detta velocità angolare, detto angolo massimo di torsione o detta velocità di avanzamento in funzione di detta torsione locale massima.

15 Detta fase di disporre detta fibra ottica secondo una traiettoria ad elica aperta comprende preferibilmente la fase di associare a detta traiettoria un passo di inversione spaziale compreso fra 0,5 m e 5 m.

Inoltre, detta fase di avanzare detta fibra ottica in detta zona di estrusione comprende preferibilmente la fase di convogliare detta fibra ottica

20 verso detta zona di estrusione tramite un supporto provvisto di canali e attraversato centralmente da detto elemento filiforme.

In un suo secondo aspetto, la presente invenzione riguarda un cavo ottico per telecomunicazioni, comprendente un elemento centrale sostanzialmente filiforme, almeno una fibra ottica e uno strato di materiale

25 polimerico sostanzialmente privo di discontinuità inglobante detto elemento centrale e detta fibra ottica, detta fibra ottica essendo disposta secondo una traiettoria a elica aperta.

Per strato sostanzialmente privo di discontinuità si intende uno strato in cui si non abbiano superfici di separazione del tipo di quelle dovute a successive

30 e/o separate estrusioni di materiale (anche dello stesso tipo), differenze di struttura cristallina o differenze di stato di stress nel materiale.

- 11 -

Preferibilmente, detta fibra ottica presenta, lungo la rispettiva traiettoria a elica aperta, una torsione scelta in modo tale che la PMD misurata su detto cavo risulti inferiore a 110% della PMD misurata su una fibra ottica non cablata dello stesso tipo.

- 5 Detta fibra ottica presenta, lungo la rispettiva traiettoria a elica aperta, una torsione locale massima compresa preferibilmente fra 0,05 giri/m e 1,5 giri/m, più preferibilmente fra 0,1 giri/m e 1 giri/m.

Inoltre, detta fibra ottica presenta, lungo la rispettiva traiettoria a elica aperta, una torsione media preferibilmente nulla.

- 10 Detto cavo comprende preferibilmente un numero di fibre ottiche compreso fra 2 e 24.

Preferibilmente, detta fibra ottica presenta, lungo la rispettiva traiettoria ad elica aperta, un angolo di avvolgimento massimo minore o uguale, in valore assoluto, di 360°, e un angolo di torsione massimo minore, in valore assoluto, di detto angolo di avvolgimento massimo.

15

Detto angolo di torsione massimo è preferibilmente compreso fra 90° e 270°.

Preferibilmente, detta fibra ottica è presente uno spessore di materiale polimerico omogeneo maggiore o uguale di 0,10 mm.

- 20 Detta traiettoria ad elica aperta presenta preferibilmente un passo di inversione compreso fra 0,5 m e 5 m.

Detto cavo comprende preferibilmente una pluralità di fibre ottiche definente una corona di fibre ottiche equidistanziate fra loro e disposte ad una stessa distanza da un asse di detto cavo.

- 25 Detta distanza di dette fibre ottiche da detto asse è compresa fra 0,4 mm e 1,2 mm.

Alternativamente, detto cavo può comprendere una pluralità di fibre ottiche definente una prima corona di fibre ottiche equidistanziate fra loro e disposte ad una prima distanza da un asse di detto cavo e una seconda corona di fibre ottiche equidistanziate fra loro e disposte ad una seconda distanza da detto asse maggiore di detta prima distanza.

30

31-03-1999

EP99106565.7

SPEC

- 12 -

In tal caso, preferibilmente detta prima distanza è compresa fra 0,4 mm e 0,8 mm e detta seconda distanza è compresa fra 0,9 mm e 1,2 mm.

Detto strato di materiale polimerico presenta uno spessore compreso preferibilmente fra 0,9 mm e 1,5 mm.

5 Detto elemento centrale presenta un diametro compreso preferibilmente fra 0,5 mm e 0,7 mm.

Detta fibra ottica ha un diametro esterno preferibilmente minore di 400 μm , più preferibilmente minore di 270 μm .

10 Preferibilmente, detto materiale polimerico presenta un modulo a flessione compreso fra 20 Mpa e 70 Mpa, una durezza "Shore" D compresa fra 15 e 70 ed un "Melt Flow Index" compreso fra 5 e 15.

15 Preferibilmente, detto cavo comprende una guaina disposta intorno a detto strato di materiale polimerico, detta guaina essendo realizzata in un materiale scelto nel gruppo comprendente polialchilentereftelati, poliolefine e poliammidi.

Maggiori informazioni sull'invenzione potranno essere ricavate dalla seguente descrizione relative ad un esempio non limitativo di attuazione, con riferimento ai disegni allegati in cui:

- 20 - la figura 1 mostra, con parti non in scala, la sezione di un cavo ottico realizzato secondo l'invenzione;
- la figura 2 illustra, schematicamente, la sezione di un nucleo ottico facente parte del cavo di figura 1;
- la figura 3 mostra, in sezione, una possibile variante del nucleo ottico di figura 2;
- 25 - la figura 4 illustra, in modo schematico, la traiettoria di una delle fibre ottiche all'interno del nucleo ottico del cavo di figura 1;
- la figura 5 mostra le posizioni occupate da una stessa fibra ottica in due sezioni ravvicinate del nucleo ottico di figura 2;
- la figura 6 presenta, in modo schematico, una apparecchiatura per la
- 30 - la figura 7 illustra schematicamente un dispositivo facente parte d' l'apparecchiatura di figura 6;

- 13 -

- la figura 8 è una sezione, mostrata non in scala con parti asportate per chiarezza, del dispositivo di figura 7 secondo il piano VIII-VIII;
- la figura 9 è relativa ad un ulteriore dispositivo atto ad essere utilizzato nell'apparecchiatura di figura 6 al posto del dispositivo di figura 7;
- 5 - la figura 10 mostra, in modo schematico, la disposizione attorno ad una direzione di lavorazione prestabilita di una pluralità di pulegge di rinvio utilizzate nell'apparecchiatura di figura 6;
- la figura 11 illustra, schematicamente, una sezione longitudinale di parte di un estrusore utilizzato nell'apparecchiatura di figura 6;
- 10 - la figura 12 mostra, non in scala, un particolare della figura 11 secondo la vista XII-XII;
- la figura 13 illustra, schematicamente ed in sezione longitudinale, una possibile variante della parte di estrusore di figura 11;
- la figura 14 mostra un particolare di figura 13 secondo la vista XIV-XIV;
- 15 - la figura 15 presenta, in modo schematico, una ulteriore apparecchiatura utilizzata per simulare gli effetti di successive fasi di cablaggio su un nucleo ottico realizzato con l'apparecchiatura di figura 6, prima di effettuare misure di PMD; e
- la figura 16 mostra i risultati di prove sperimentali condotte su un cavo
20 realizzato secondo l'invenzione.

In figura 1 è mostrato, in sezione, un cavo 1 ottico sottomarino per telecomunicazioni.

- Il cavo 1 presenta un asse 10 e comprende centralmente un nucleo ottico 2 sostanzialmente cilindrico e, attorno ad esso, una pluralità di elementi o strati di protezione e rinforzo 7, 12 e 13.
- 25

- Il nucleo ottico 2, che verrà descritto in dettaglio in seguito con riferimento alla figura 2, comprende un elemento centrale 4 di rinforzo, uno strato polimerico 5 privo di discontinuità, una pluralità di fibre ottiche 3 (in numero pari a sei nel particolare esempio mostrato) inglobate nello strato 5 e una sottile guaina 6, realizzata in un polimero termoplastico, che riveste lo strato 5. Il nucleo ottico 2 presenta un diametro esterno preferibilmente minore di 4 mm.
- 30

- 14 -

Attorno alla guaina 6 è presente una pluralità di elementi di rinforzo 7a, 7b e 7c, preferibilmente elementi filiformi di acciaio. Nell'esempio di fig. 1, tale pluralità di elementi di rinforzo comprende:

- 5 - un primo gruppo di elementi di rinforzo 7a aventi un primo diametro e disposti a reciproco contatto per realizzare una struttura auto-sostenuta che definisce un primo strato di rinforzo 8 esterno alla guaina 6 e non a contatto con quest'ultima;
- 10 - un secondo gruppo di elementi di rinforzo 7b aventi un secondo diametro minore del primo e disposti esternamente agli elementi del primo gruppo 7a; e
- 15 - un terzo gruppo di elementi di rinforzo 7c aventi un terzo diametro minore del secondo, disposti esternamente agli elementi del primo gruppo 7a ed alternati agli elementi del secondo gruppo 7b in modo da definire, insieme a questi ultimi, un secondo strato di rinforzo 9 esterno allo strato di rinforzo 8.

Gli elementi di rinforzo 7c sono disposti in posizione angolare corrispondente a quella degli elementi di rinforzo 7a in modo tale che il secondo strato di rinforzo 9 presenti un involucro esterno sostanzialmente cilindrico tangente sia agli elementi di rinforzo 7b sia agli elementi di rinforzo 7c.

- 20 L'insieme dei due strati di rinforzo 8 e 9 definisce una struttura nota nella tecnica come "Warrington".

- 25 Un rivestimento tubolare 12, preferibilmente di materiale metallico, più preferibilmente di rame, avvolge gli elementi di rinforzo 7b, 7c del secondo strato di rinforzo 9 e, insieme alla suddetta struttura "Warrington", definisce una struttura di rinforzo avente caratteristiche meccaniche tali da conferire al cavo 1 una elevata resistenza alle sollecitazioni meccaniche, in particolare alla pressione idrostatica presente nei fondali marini. Inoltre, il rivestimento 12 definisce un elemento elettricamente conduttivo utilizzabile per l'alimentazione elettrica dei ripetitori di segnale disposti nel sistema di telecomunicazione di cui
- 30 il cavo 1 fa parte. Il rivestimento 12 permette infine di proteggere le parti più interne dall'umidità.

- 15 -

In alternativa, gli elementi di rinforzo possono essere disposti secondo altre configurazioni, su uno o più ranghi, in relazione alle condizioni di impiego.

Il cavo 1 comprende, inoltre, uno strato 13 di materiale polimerico, preferibilmente polietilene, disposto esternamente al rivestimento 12 ed atto a
5 definire un isolamento elettrico verso l'esterno.

In assenza di ulteriori rivestimenti, il diametro esterno dello strato 13 definisce anche il diametro esterno del cavo 1. Lo strato 13 può, eventualmente, essere protetto con un rivestimento a nastro metallico (non mostrato) e da uno o più rivestimenti di tipo polimerico (non mostrati) esterni al rivestimento a strato
10 metallico.

Il cavo 1 precedentemente descritto è tipicamente adatto ad essere utilizzato fino a profondità marine di circa 7000 m. In alcuni casi, ad esempio nell'utilizzo in zone marine poco profonde soggette ad attività di pesca, il cavo 1 può essere provvisto di una armatura esterna (non illustrata) costituita da uno o
15 più strati di elementi sostanzialmente cilindrici di rinforzo, preferibilmente di acciaio, alternati a strati di materiale polimerico, ad esempio polipropilene.

In figura 2, il nucleo ottico 2 viene mostrato isolato e in vista ingrandita. L'elemento centrale 4 è un elemento sostanzialmente filiforme atto a garantire una adeguata resistenza agli sforzi di sollecitazione assiale nelle diverse fasi di
20 produzione del cavo 1. L'elemento centrale 4 è realizzato preferibilmente in acciaio o in una resina rinforzata con fibre di vetro, con materiali polimerici rinforzanti (come poliammidi aromatiche, ad esempio "kevlar"®) o con fibre di carbonio o simili, e presenta un diametro compreso preferibilmente fra 0,5 mm e 0,7 mm

Lo strato polimerico 5 definisce un supporto continuo per le fibre ottiche ed è atto sia a mantenere le fibre ottiche 3 stesse in posizione stabile attorno all'elemento centrale 4, sia ad "assorbire" sollecitazioni esterne agenti sul nucleo
25 ottico 2. Lo strato polimerico 5 è privo di discontinuità in quanto realizzato con un singolo processo di estrusione e può essere realizzato in una resina termoplastica, ad esempio un poliestere elastomerico. Per garantire una
30 adeguata protezione meccanica per le fibre ottiche 3, tale materiale è scelto con un modulo a flessione (misurato secondo la norma ASTM D790) compreso

- 16 -

preferibilmente fra 20 Mpa e 70 Mpa, più preferibilmente pari a circa 35 Mpa, e una durezza "Shore" D compresa preferibilmente fra 15 e 70, più preferibilmente pari a circa 35. Inoltre, tale materiale presenta un "Melt Flow Index" compreso preferibilmente fra 5 e 15, per avere, durante il processo di estrusione descritto

5 in seguito, una sua corretta distribuzione attorno all'elemento centrale 4 e alle fibre ottiche 3 e, allo stesso tempo, avere sollecitazioni ridotte sulle fibre ottiche 3 stesse. Lo strato polimerico 5 presenta uno spessore (definito fra l'elemento centrale 4 e la guaina 6) compreso preferibilmente fra 0,9 mm e 1,5 mm, per avere una sufficiente protezione.

10 La guaina 6 svolge una funzione di protezione termica e meccanica ed è realizzata in un materiale scelto preferibilmente nel gruppo comprendente polialchilentereftalati, poliolefine e poliammidi, ad esempio un polibutilentereftalato, un polietilene, un polipropilene o nylon. La guaina 6 presenta uno spessore compreso preferibilmente fra 0,05 mm e 0,15 mm.

15 Le fibre ottiche 3 sono del tipo avente all'esterno della struttura in vetro di guida della luce (tipicamente costituito da un nucleo - o "core" - e da un mantello - o "cladding"), una protezione, tipicamente reticolata UV, in resina acrilica realizzata su uno o più strati (il più esterno dei quali è solitamente colorato per facilitare il riconoscimento della fibra ottica 3), e hanno un diametro

20 esterno preferibilmente minore di 400 μm , più preferibilmente minore di 270 μm . Nell'esempio di figura 2, le fibre ottiche 3 sono disposte equidistanziate fra loro e ad una stessa distanza dall'asse 10, compresa preferibilmente fra 0,4 mm e 1,2 mm, in modo da definire un'unica corona di fibre ottiche 3. Le fibre ottiche 3 disposte su un'unica corona sono in numero preferibilmente minore o uguale di

25 dodici (12).

Nella variante illustrata in figura 3, relativa ad un nucleo ottico 2' comprendente un elevato numero di fibre ottiche 3, le fibre ottiche 3 stesse sono disposte in modo da definire una prima corona 15 ed una seconda corona 16 esterna alla prima. Nell'esempio illustrato, la prima corona 15 comprende otto

30 fibre ottiche 3 e la seconda corona 16 comprende dodici fibre ottiche 3. Le fibre ottiche 3 della prima corona 15 sono disposte ad una distanza dall'asse 10 compresa preferibilmente fra 0,4 mm 0,8 mm e le fibre ottiche 3 della seconda

- 17 -

corona 16 sono disposte ad una distanza dall'asse 10 compresa preferibilmente fra 0,9 mm e 1,2 mm. Inoltre, la minima distanza fra le fibre ottiche 3 della prima corona 15 e le fibre ottiche 3 della seconda corona 16 è compresa preferibilmente fra 0,15 mm e 0,3 mm. Le fibre ottiche disposte su due corone sono preferibilmente in numero inferiore a ventiquattro (24).

Per ciascuna delle possibili configurazioni qui considerate, la distanza di ciascuna fibra ottica 3 dall'elemento centrale 4, dalla guaina 6 e dalle fibre ottiche 3 ad essa adiacenti è preferibilmente maggiore o uguale di 0,1 mm, in modo tale che attorno a ciascuna fibra ottica 3 sia presente uno spessore di materiale polimerico omogeneo pari a tale distanza, al fine di garantire la protezione desiderata.

In figura 4 è mostrata la traiettoria di una delle fibre ottiche 3 all'interno del nucleo ottico 2 o del nucleo ottico 2'. Per meglio evidenziare tale traiettoria, in figura 4 è mostrata anche una superficie cilindrica 100 su cui la traiettoria stessa si sviluppa. La superficie 100 è stata introdotta unicamente per comodità di rappresentazione e non corrisponde ad alcuna superficie di demarcazione reale. Come mostrato in figura 4, la traiettoria di ciascuna fibra ottica 3 è una traiettoria a elica cilindrica "aperta" (ossia SZ). Lungo tale traiettoria SZ, il senso di avvolgimento è invertito, sia in un senso sia nell'altro, al raggiungimento di un angolo di avvolgimento prestabilito, preferibilmente minore o uguale di 360°. Alla traiettoria SZ sono associati un passo di inversione P, definito come la distanza fra due punti successivi di inversione del senso di rotazione, e un periodo di avvolgimento p, definito come la distanza fra due punti successivi in cui la traiettoria inizia a ruotare nello stesso senso. Usualmente, il periodo di avvolgimento corrisponde al doppio del passo di inversione P. Il passo di inversione P è compreso preferibilmente fra 0,5 m e 5 m.

Ciascuna fibra ottica 3 presenta, lungo la traiettoria SZ da essa definita, una torsione alternata attorno al proprio asse. Con riferimento alle figure 4 e 5, con A e B sono indicate le posizioni assunte da una stessa fibra ottica 3 nel nucleo ottico 4 in corrispondenza di due sezioni longitudinali ravvicinate del nucleo ottico 4 stesso. Come mostrato in figura 5, considerando come posizione di riferimento la posizione A, alla posizione B è associato un angolo di

- 18 -

avvolgimento α pari alla rotazione subita dalla fibra ottica 3 attorno all'asse 10 per passare dalla posizione A alla posizione B. Inoltre, a ciascuna fibra ottica 3 può essere associata una direzione di riferimento radiale D, solidale alla fibra ottica 3 stessa, il cui angolo β rispetto ad una direzione di riferimento fissa R (che, nella posizione A, coincide con la direzione di riferimento radiale D) indica la torsione subita dalla fibra ottica 3 attorno al proprio asse. Nel caso in cui la torsione della fibra ottica 3 sia impartita come associata alla cordatura SZ della fibra ottica 3 nel nucleo ottico 2 (essendo la relativa bobina 62 mantenuta stazionaria), in qualsiasi punto lungo la traiettoria si ha che $|\beta| \leq |\alpha|$ e che i valori massimi dei due angoli soddisfano la relazione $|\beta_{\max}| < |\alpha_{\max}|$. Come detto in precedenza, $|\alpha_{\max}|$ è preferibilmente minore o uguale di 360° .

Oltre all'angolo di torsione β , possono essere definiti una torsione locale corrispondente a $d\beta/dx$ (esprimibile in rad/m o, equivalentemente, in giri/m ossia numero di giri della fibra ottica 3 attorno al proprio asse per unità di lunghezza) dove x è una ascissa spaziale misurata lungo l'asse 10, e una torsione media, pari al valor medio della torsione locale in un periodo di avvolgimento p .

Nel cavo 1, la torsione locale delle fibre ottiche 3 assume un valore massimo compreso fra 0,05 giri/m e 1,5 giri/m, preferibilmente fra 0,1 giri/m e 1 giri/m.

Il fatto che l'angolo di torsione β sia variabile e, in valore assoluto, minore o uguale dell'angolo di avvolgimento α , rappresenta un vantaggio in termini di PMD, in quanto consente di evitare che una stessa porzione superficiale di una fibra ottica 3 risulti sottoposta a sollecitazioni continue o periodiche. Infatti, nel caso in cui il nucleo 2 sia sottoposto a sollecitazioni radiali distribuite uniformemente in senso angolare, il fatto di avere un angolo α coincidente con l'angolo β rappresenterebbe uno svantaggio, in quanto le sollecitazioni sarebbero dirette sempre sulla stessa porzione esterna di fibra ottica 3. Nel caso in cui, invece, il nucleo 2 sia sottoposto a sollecitazioni dirette prevalentemente lungo un'unica direzione, risulterebbe svantaggioso sia avere un angolo β fisso e pari a 0° , sia avere un angolo β variabile e pari ad α . Infatti, anche in questo caso, le sollecitazioni agirebbero periodicamente sempre su una stessa porzione della fibra ottica 3 o sulla porzione diametralmente opposta,

- 19 -

provocando in entrambi i casi una birifrangenza della fibra ottica 3 stessa , quindi, un aumento della PMD. Nelle situazioni in cui le sollecitazioni presentano contributi di entrambi i tipi, entrambe le condizioni sopra menzionate risulterebbero sfavorevoli.

- 5 Un ulteriore vantaggio in termini di PMD è fornito dal particolare tipo di avvolgimento utilizzato. Infatti, grazie all'utilizzo di un avvolgimento di tipo SZ, ciascuna fibra ottica 3 presenta, in una porzione di cavo 1 di lunghezza pari ad un multiplo pari del passo di inversione P, una torsione media nulla. Quindi, la componente elastica di torsione della fibra ottica 3, generalmente responsabile
- 10 di un aumento della birifrangenza circolare (e, quindi, della PMD), risulta, nel caso del cavo 1, mediamente nulla.

- Con riferimento alla figura 6, è indicata con 20, nel suo complesso, una apparecchiatura per la fabbricazione del nucleo ottico 2 (o 2'). Le apparecchiature per le successive fasi di lavorazione, in particolare per
- 15 l'ottenimento del cavo 1 a partire dal nucleo ottico 2, non sono descritte in quanto note.

- L'apparecchiatura 20 comprende, nelle sue parti essenziali, una sezione di svolgimento e alimentazione 21, una sezione di estrusione 22 ed una sezione di raccolta 23. Tali sezioni sono fra loro consecutive lungo una direzione di
- 20 lavorazione 30 sostanzialmente rettilinea.

- La sezione di alimentazione 21 comprende una unità 24 di alimentazione dell'elemento centrale 4 ed una pluralità di unità 25 di alimentazione delle fibre ottiche 3 atte ad operare contemporaneamente per alimentare l'elemento centrale 4 e le fibre ottiche 3 alla sezione di estrusione 22.

- 25 L'unità 24 comprende:
- una bobina 26 di svolgimento dell'elemento centrale 4, portante avvolto l'elemento centrale 4 e disposta con il proprio asse di rotazione ortogonale alla direzione di lavorazione 30;
 - un dispositivo accumulatore 27 di tipo noto per regolare la tensione di
- 30 svolgimento dell'elemento centrale 4; e

- 20 -

- un dispositivo di torsione 28, disposto lungo la direzione di lavorazione 30 ed è atto a ricevere, tramite il dispositivo accumulatore 27, l'elemento centrale 4 dalla bobina 26.

5 Il dispositivo di torsione 28 è, in particolare, atto a impartire all'elemento centrale 4 una torsione controllata di tipo SZ che permette di ottenere, come descritto in seguito, la particolare disposizione delle fibre ottiche 3 già descritta. Una preferita forma di realizzazione del dispositivo di torsione 28 viene di seguito descritta con riferimento alla figura 7.

10 Il dispositivo di torsione 28 comprende una struttura di supporto 29 fissa (mostrata solo parzialmente) ed un organo girevole 31 motorizzato (racchiuso nel riquadro tratteggiato) montato sulla struttura di supporto 29.

15 L'organo girevole 31 presenta un asse di rotazione 43 sostanzialmente allineato con la direzione di lavorazione 30 (lungo la quale viene alimentato a velocità costante l'elemento centrale 4) e comprende una incastellatura 32 e due coppie di rulli 33 e 34 supportate dall'incastellatura 32. Ciascuna coppia di rulli 33, 34 include un primo ed un secondo rullo 45, 46 montati folli da parti opposte rispetto all'asse di rotazione 43 e fra loro cooperanti, come descritto in seguito, per guidare l'elemento centrale 4.

20 L'incastellatura 32 comprende un primo ed un secondo elemento anulare 35, 36 aventi i rispettivi assi disposti lungo la direzione di lavorazione 30 e fra loro solidalmente collegati tramite piastre longitudinali 37. Il primo elemento anulare 35 è solidalmente collegato ad una puleggia dentata 38, la quale è a sua volta collegata, tramite una cinghia 39 dentata, ad una puleggia dentata 40 azionata da un motore 41. Il secondo elemento anulare 36 è predisposto per
25 consentire l'accoppiamento solidale all'organo girevole 31 di un ulteriore organo dello stesso tipo, qualora l'azione di torsione del dispositivo di torsione 28 non possa essere correttamente garantita da un solo organo girevole 31. Anche nel caso in cui il dispositivo di torsione 28 comprenda un ulteriore organo girevole oltre a quello mostrato in figura 7, la rotazione può essere comunque conferita
30 da un unico motore, nel caso specifico il motore 41.

L'incastellatura 32 comprende, inoltre, un leverismo 42 per il collegamento al primo elemento anulare 35 dei primi rulli 45 di ciascuna coppia

- 21 -

e, separatamente, dei secondi rulli 46 di ciascuna coppia. Il leverismo 42 consente l'auto-centraggio delle coppie di rulli 33, 34 sull'elemento centrale 4 durante il processo di lavorazione.

5 Come mostrato nella vista in sezione di figura 8, il primo ed il secondo
rullo 45 e 46 di ciascuna coppia sono disposti con i rispettivi assi fra loro paralleli
e ortogonali alla direzione di lavorazione 30 e presentano rispettive superfici
45a, 46a sostanzialmente cilindriche. Il secondo rullo 46 presenta, sulla propria
superficie cilindrica 46a, una scanalatura 47 circonferenziale, ad esempio con
sezione a V, atta ad alloggiare l'elemento centrale 4 durante il suo passaggio
10 attraverso il dispositivo di torsione 28. I due rulli di ciascuna coppia 33, 34 sono
preferibilmente uniti da un elemento di collegamento elastico (non mostrato), ad
esempio una molla, atto ad avvicinare fra loro i rulli stessi in modo tale che,
quando la scanalatura 47 ospita l'elemento centrale 4, la superficie cilindrica 45a
del primo rullo 45 costringe l'elemento centrale 4 stesso all'interno della
15 scanalatura 47.

In figura 9 è mostrato un dispositivo di torsione 50 che rappresenta una
possibile variante al dispositivo di torsione 28. Il dispositivo di torsione 50
comprende una puleggia 51 provvista di una gola 52 per guidare l'elemento
centrale 4. La puleggia 51 è libera di ruotare attorno al proprio asse rispetto ad
20 una mensola 53 che si estende radialmente a sbalzo da un albero cavo 54.
Quest'ultimo è disposto con il proprio asse lungo la direzione di lavorazione 30,
è supportato in modo girevole intorno a detto asse (tramite una struttura non
illustrata) e presenta una prima estremità 54a per l'ingresso dell'elemento
centrale 4 proveniente dalla bobina 26 ed una seconda estremità 54b per
25 l'uscita dell'elemento centrale 4 dopo che questo ha effettuato un giro intorno
alla puleggia 51. Per consentire l'alimentazione dell'elemento centrale 4 alla
puleggia 51, l'albero cavo 54 presenta una finestra 55 attraverso la quale una
porzione della puleggia 51 si estende all'interno della cavità passante definita
dall'albero cavo 54 stesso, in modo che la gola 52 risulti tangente alla direzione
30 di lavorazione 30.

Sull'albero cavo 54 è calettata una puleggia dentata 56. Una cinghia
dentata 57 si imp gna con la puleggia d ntata 56 e con un'altra puleggia

- 22 -

dentata 58 collegata ad un motor 59 di tipo capace di imporre un moto rotatorio alternato alla puleggia dentata 58 e quindi, tramite la cinghia 57 e la puleggia dentata 56, un moto rotatorio alternato all'albero cavo 54. All'elemento centrale viene di conseguenza impartita una torsione alternata.

5 Nuovamente con riferimento alla figura 6, ciascuna unità 25 di alimentazione comprende una bobina 60 di svolgimento di una rispettiva fibra ottica 3, un dispositivo accumulatore 61 di tipo noto per regolare la tensione di svolgimento della fibra ottica 3 e una puleggia di rinvio 62 atta ad alimentare la fibra ottica 3 alla sezione di estrusione 22 lungo una direzione prestabilita.

10 Le bobine 60 ed i dispositivi accumulatori 61 possono essere supportati da una stessa struttura di supporto (non mostrata) posizionata lateralmente rispetto alla direzione di lavorazione 30. In particolare, le bobine 60 sono supportate con i rispettivi assi paralleli fra loro ed ortogonali alla direzione di lavorazione 30. Ciascun dispositivo accumulatore 61 è atto a ricevere una
15 rispettiva fibra ottica 3 dalla corrispondente bobina 60 e ad alimentarla alla corrispondente puleggia di rinvio 62 obliquamente rispetto alla direzione di lavorazione 30.

 Come riferimento alla figura 10, le pulegge di rinvio 62 sono supportate folli intorno alla direzione di lavorazione 30, con i rispettivi assi sostanzialmente
20 paralleli fra loro. Le pulegge di rinvio 62 possono ad esempio essere montate su un supporto fisso (non mostrato) presentante una apertura per il passaggio dell'elemento centrale 3. Le pulegge 62 sono poste ad una distanza L da una zona di estrusione definita in seguito. La distanza L rappresenta un parametro di processo che viene scelto in base alle caratteristiche che si vuole conferire al
25 nucleo ottico 2, come verrà spiegato in seguito.

 La sezione di estrusione 22 comprende, lungo la direzione di lavorazione 30, un primo estrusore 65 atto a estrarre lo strato polimerico 5 attorno all'elemento centrale 4 e alle fibre ottiche 3 ed una prima vasca di raffreddamento 66 per raffreddare lo strato polimerico 5 dopo l'estrusione.
30 Inoltre, la sezione di estrusione 22 comprende un secondo estrusore 84 posizionato a valle della prima vasca di raffreddamento 66 per depositare sullo strato polimerico 5 la guaina 6 e una seconda vasca di raffreddamento 85 per

- 23 -

realizzare il consolidamento del material costituente la guaina 6 stessa. Fra la prima vasca di raffreddamento 66 e il secondo estrusore 84 è presente un dispositivo di asciugatura 82 ad aria calda per eliminare tracce di umidità sulla superficie dello strato di materiale polimerico 5.

- 5 In figura 11 è mostrata una testa di estrusione 65a facente parte dell'estrusore 65 e nella quale viene realizzata l'estrusione di materiale polimerico sull'elemento centrale 4 e sulle fibre ottiche 3. La testa di estrusione 65a comprende, in posizione fissa, un primo corpo cilindrico 67 definente uno stampo femmina ed un secondo corpo cilindrico 68 definente uno stampo maschio, aventi un asse 76 comune allineato lungo la direzione di lavorazione 30. Lo stampo femmina 67 è conformato al suo interno sostanzialmente ad imbuto e lo stampo maschio 68 si estende all'interno dello stampo femmina 67 e definisce, insieme a quest'ultimo, un passaggio 75 sostanzialmente anulare per il materiale polimerico. Il passaggio 75 converge verso una zona di estrusione 15 77 dove viene formato il nucleo ottico 2.

- La zona di estrusione 77 si estende all'interno di una apertura 72 cilindrica dello stampo femmina 67, coassiale all'asse 76 ed atta a consentire la fuoriuscita del nucleo ottico 2 dalla testa di estrusione 65a. Il diametro dell'apertura 72 è circa pari al diametro previsto per il nucleo ottico 1 e la sua 20 lunghezza (indicata nella tecnica con il termine "land") è funzione parametri di processo quali la velocità di avanzamento v dell'elemento centrale 4 e le dimensioni del nucleo ottico 2 ed è scelta in modo tale da avere una pressione prestabilita del materiale polimerico nella zona di estrusione 77. Inoltre, la suddetta lunghezza deve essere tale da consentire al materiale polimerico di 25 distribuirsi in maniera uniforme attorno all'elemento centrale 4 e di inglobare in posizione stabile le fibre ottiche 3, prima della fuoriuscita dalla testa di estrusione 65a. Preferibilmente, la lunghezza dell'apertura 72 è compresa fra 2 mm e 6 mm, il suo diametro è compreso fra 2 mm e 4 mm e il rapporto fra lunghezza e diametro è preferibilmente compreso fra 1 e 2, più preferibilmente 30 fra 1,3 e 1,5.

Lo stampo maschio 68 comprende un corpo centrale 69 di forma sostanzialmente tubolare cilindrica, atto a guidare l'elemento centrale 4 e le fibre

- 24 -

ottiche 3 verso la zona di estrusione 77. La conformazione e le dimensioni del corpo centrale 69 sono scelte in base alle caratteristiche previste per il nucleo ottico 2. In particolare, il corpo centrale 69 mostrato in figura 11 è adatto alla realizzazione di un nucleo ottico 2 comprendente una unica corona di fibre ottiche 3.

- 5 Con riferimento alle figure 11 e 12, il corpo centrale 69 è disposto coassiale all'asse 76 e presenta un foro 70 centrale longitudinale per il passaggio dell'elemento centrale 4 e una pluralità di canali 71 equidistanziati sostanzialmente longitudinali per il passaggio delle fibre ottiche 3. Il corpo centrale 69 è rimovibile dalla testa di estrusione 65a per consentire un facile
- 10 inserimento dell'elemento centrale 4 nel foro 70 e delle fibre ottiche 3 nei canali 71 prima dell'inizio del processo di lavorazione.

- Una prima estremità 73 del corpo centrale 69 definisce un prolungamento dello stampo maschio 68 che si estende all'interno della zona di estrusione 77 e termina, con uno smusso, all'interno dell'apertura 72. Una
- 15 seconda estremità 74 del corpo centrale 69 opposta alla prima presenta un risalto anulare 81, il quale è disposto in battuta contro uno spallamento 78 di una porzione fissa 79 dello stampo maschio 68. Un elemento di chiusura 80 di forma tubolare cilindrica è disposto in battuta contro la seconda estremità 74 da parte opposta rispetto allo spallamento 78 ed è atto, insieme a quest'ultimo, a
- 20 bloccare assialmente il corpo centrale 69. L'elemento di chiusura 80 è provvisto di una apertura longitudinale (non mostrata) per consentire la sua applicazione attorno all'elemento centrale 4 prima del suo inserimento nello stampo maschio 68 ed è provvisto di una filettatura esterna per un accoppiamento filettato con la porzione fissa 79 dello stampo maschio 68.

- 25 I canali 71 si estendono dalla seconda estremità 74 fino all'inizio della prima estremità 73, sostanzialmente paralleli fra loro e ad una distanza dall'asse 76 sostanzialmente pari al diametro esterno della prima estremità 73 per consentire alle fibre ottiche 3 di entrare nella zona di estrusione 77 a contatto con la superficie esterna della prima estremità 73 stessa. Il diametro esterno
- 30 della prima estremità 73 è sostanzialmente pari alla distanza prevista fra le fibre ottiche 3 e l'asse 10 del nucleo ottico 2 e la sua lunghezza è scelta in modo da mantener le fibre ottiche 3 a distanza costante dall'asse 76 durante il

- 25 -

passaggio delle fibre ottiche 3 nella zona di estrusione 77, impedendo così che per effetto della pressione radiale del materiale polimerico, le fibre ottiche 3 stesse collassino radialmente verso l'elemento centrale 4.

Ciascun canale 71 presenta una altezza (misurata radialmente rispetto all'asse 76) progressivamente decrescente passando dalla seconda estremità 74 alla prima estremità 73 cosicché è possibile definire un angolo di convergenza γ non nullo della sua parete più esterna verso la sua parte più interna. L'angolo di convergenza γ è preferibilmente maggiore dell'angolo (rispetto all'asse 76) con cui le fibre ottiche 3 vengono alimentate alla testa di estrusione 65a dalle pulegge di rinvio 62. Ad esempio, l'angolo di convergenza γ può essere pari a 3° e l'angolo di alimentazione delle fibre ottiche pari a $1,5^\circ$. Ciascun canale 71 termina con una sezione pari circa alla sezione delle fibre ottiche 3, per garantire che le fibre ottiche 3 stesse entrino nella zona di estrusione 77 a contatto con la prima estremità 73 stessa. Il corpo centrale 69 ha, ad esempio, una lunghezza pari a 15 mm.

Nelle figure 13 e 14 è mostrata una diversa forma realizzativa del corpo centrale, qui indicato con 69', adatta al caso in cui le fibre ottiche 3 debbano essere disposte su due diverse corone, come mostrato in figura 3. Le parti del corpo centrale 69' corrispondenti ad analoghe parti del corpo 69 sono indicate con gli stessi numeri di riferimento. Nel corpo centrale 69' sono presenti una prima ed una seconda pluralità di canali 71', 71'', di cui la seconda è esterna alla prima. La prima pluralità di canali 71' è atta a consentire la disposizione attorno all'elemento centrale 4 di una prima pluralità di fibre ottiche 3 definenti la prima corona 15 di figura 3 e la seconda pluralità di canali 71'' è atta a consentire la disposizione attorno all'elemento centrale 4 di una seconda pluralità di fibre ottiche 3 definenti la seconda corona 16 di figura 3. Inoltre, il corpo centrale 69' presenta una prima estremità 73' estendentesi nella zona di estrusione 77 e comprendente una prima porzione longitudinale 73'a ed una seconda porzione longitudinale 73'b di estremità avente un diametro esterno minore rispetto alla prima porzione longitudinale 73'a. Il corpo centrale 69' ha, ad esempio, una lunghezza pari a 18 mm.

- 26 -

Nuovamente con riferimento alla figura 6, la vasca 66 è disposta lungo la direzione di lavorazione 30 ed è atta a ricevere, durante il processo di lavorazione, il nucleo ottico 2 dall'estrusore 65. La vasca 66 presenta una lunghezza scelta in base al tipo di materiale polimerico utilizzato per realizzare lo strato 5 e alla velocità v di avanzamento del nucleo ottico 2. La vasca 66 è preferibilmente suddivisa in zone successive contenenti acqua a temperature prestabilite ed è atta ad essere attraversata per tutta la sua lunghezza dal nucleo ottico 2.

Il secondo estrusore 84, atto a realizzare la guaina 6, non è qui descritto in quanto noto. La seconda vasca di raffreddamento 85 è, ad esempio, dello stesso tipo della vasca 66.

La sezione di raccolta 23 comprende un dispositivo di tirata 86 di tipo noto, ad esempio un dispositivo di tirata a pattini continui oppure del tipo a volante ("capstan") atto a tirare il nucleo ottico 2 con una velocità v controllata.

La sezione di raccolta 23 comprende inoltre una bobina di raccolta 87 motorizzata atta a ricevere e ad immagazzinare il nucleo ottico 2 e un dispositivo accumulatore 88 disposto a monte della bobina di raccolta 87 ed atto a regolare la tensione sul nucleo ottico 2.

Con riferimento alla figura 15 è indicato con 90, nel suo complesso, una ulteriore apparecchiatura utilizzata per simulare gli effetti delle successive fasi di cablaggio sul nucleo ottico 2, al fine di poter effettuare sul nucleo ottico 2 misure di PMD che simulino analoghe misure effettuate su un cavo 1 finito. Poiché, in un cavo 1 finito, la struttura "Warrington" definita dagli elementi cilindrici 7a, 7b e 7c è auto-sostenuta e, quindi, non sollecita meccanicamente il nucleo ottico 2, gli effetti sul nucleo 2 delle successive fasi di cablaggio sono rappresentati essenzialmente dagli effetti termici conseguenti alla deposizione dello strato 13 di materiale polimerico. Tali effetti termici comprendono una espansione del materiale polimerico dello strato 5 durante il riscaldamento per l'applicazione dello strato 13 e una contrazione ("shrinkage") di tale materiale durante il successivo raffreddamento.

L'apparecchiatura 90 comprende una bobina 91 portante avvolto il nucleo ottico 2, ad esempio coincidente con la bobina di raccolta 87 di figura 6,

- 27 -

un forno 92, atto a ricevere il nucleo ottico 2 dalla bobina 91 tramite un
dispositivo accumulatore 93 ed una puleggia di rinvio 94, un tubo riscaldato 95
disposto a valle del forno 92 ed una bobina di raccolta 96 atta a ricevere il
nucleo ottico 2 tramite una ulteriore puleggia di rinvio 97 ed un ulteriore
5 dispositivo accumulatore 98. La temperatura all'interno del forno 92 e quella
all'interno del tubo riscaldato 95 sono scelte in modo tale da riscaldare il nucleo
ottico 2 ad una temperatura corrispondente a quella tipicamente raggiunta dal
durante l'applicazione dello strato 13 (figura 1). Ad esempio, tale temperatura
può essere pari a circa 100°C. La velocità di linea (ossia la velocità di
10 avanzamento del nucleo ottico 2) e la lunghezza del tubo riscaldato 95 sono
scelti in modo tale da realizzare una variazione termica nel nucleo ottico 2 simile
a quella subita durante l'applicazione dello strato 13.

Di seguito, viene descritto il processo per la fabbricazione del nucleo
ottico 2 mediante l'apparecchiatura di fabbricazione 20 di figura 6.

15 Per effetto del tiro esercitato dal dispositivo di tirata 86, l'elemento
centrale 4 viene svolto dalla bobina di svolgimento 26 e, contemporaneamente,
le fibre ottiche 3 vengono svolte dalle rispettive bobine 60. Il dispositivo
accumulatore 27 e i dispositivi accumulatori 61 regolano in modo controllato la
tensione agente sull'elemento centrale 4 e, rispettivamente, sulle fibre ottiche 3.
20 Le tensioni applicate sulle fibre ottiche 3 hanno valori compresi preferibilmente
fra 100 g e 300 g, più preferibilmente fra 150 g e 250 g. Convenientemente, il
rapporto fra la tensione applicata all'elemento centrale 4 e la tensione applicata
alle fibre ottiche 3 è compresa fra 10 e 50. Tale rapporto è scelto in modo tale
che, all'interno del nucleo ottico 2, le fibre ottiche 3 presentino un allungamento
25 residuo maggiore di quello dell'elemento centrale 4. In particolare, la differenza
fra l'allungamento residuo delle fibre ottiche 3 e quello dell'elemento centrale 4 è
preferibilmente maggiore di 0,02 %. La presenza di un allungamento residuo
nelle fibre ottiche 3 permette di compensare eventuali compressioni delle fibre
ottiche stesse generate in fasi successive del processo di lavorazione (ad
30 esempio durante l'avvolgimento su bobina) o durante l'utilizzo del cavo finito.
Tali compressioni potrebbero infatti provocare peggioramenti in termini di
attuazione del segnale trasmesso.

- 28 -

L'elemento centrale 4, prima di giungere all'estrusore 65, viene sottoposto a torsione dal dispositivo di torsione 28. In particolare, con riferimento alla figura 7, il dispositivo di torsione 28 sottopone l'organo girevole 31 ad un moto rotatorio alternato attorno all'asse 43, con un angolo di rotazione massimo α'_{max} e una velocità angolare ω prestabiliti. L'azione di torsione sull'elemento centrale 4 viene esercitata dalle coppie di rulli 45, 46, in ciascuna delle quali l'elemento centrale 4 stesso viene mantenuto serrato nella scanalatura 47 del secondo rullo 46 dalla superficie 45a del primo rullo 45.

La testa di estrusione 65a riceve l'elemento centrale 4 dal dispositivo di torsione 28 e le fibre ottiche 3 dalle pulegge di rinvio 62. Nella testa di estrusione 65a, l'elemento centrale 4 percorre il foro 70 del corpo centrale 69 fino ad entrare nella zona di estrusione 77. Contemporaneamente, le fibre ottiche 3 attraversano i canali 71 del corpo centrale 69 ed entrano nella zona di estrusione 77 a contatto con la superficie esterna della prima estremità 73. Nella zona di estrusione 77, il materiale polimerico proveniente dal passaggio 75 fluisce dapprima a contatto con la superficie esterna della prima estremità 73, quindi, a partire dallo smusso terminale della prima estremità 73, fino all'elemento centrale 4, inglobando sia quest'ultimo che le fibre ottiche 3. Grazie alle caratteristiche fisiche del materiale polimerico scelto ed alla tensione controllata sulle fibre ottiche 3 imposta dai dispositivi accumulatori 61, le fibre ottiche 3 stesse sono mantenute equidistanziate fra loro e ad una distanza prestabilita dall'elemento centrale 4.

A partire dalla zona di estrusione 77, per effetto della torsione alternata imposta all'elemento centrale 4 dal dispositivo di torsione 28, il materiale polimerico e le fibre ottiche 3 vengono trascinati in un movimento rotatorio alternato attorno all'asse 76, con un angolo di avvolgimento sostanzialmente pari all'angolo di torsione dell'elemento centrale. Per effetto di tale movimento rotatorio e dell'avanzamento a velocità costante lungo la direzione di lavorazione 30, le fibre 3 si dispongono, fra loro equidistanziate, secondo traiettorie di tipo SZ. Il passo di inversione P di tali traiettorie SZ è determinato dalla suddetta velocità di avanzamento e dal periodo temporale del suddetto movimento di torsione dell'elemento centrale 4.

Durante la torsion dell'elemento centrale 4, n l'intervallo temporale compreso fra due istanti di inversione consecutivi, ciascuna fibra ottica 3 è soggetta, oltre al suddetto avvolgimento attorno all'elemento centrale 4 stesso, anche ad una torsione attorno al proprio asse. Come già descritto con
5 riferimento alla figura 5, l'angolo di torsione β è minore, in valore assoluto, dell'angolo di avvolgimento α . Ciò è dovuto al vincolo alla torsione imposto dalle pulegge di rinvio 62. Infatti, poiché la torsione imposta a ciascuna fibra ottica 3 nella zona di estrusione 77 si trasmette alla porzione di fibra ottica 3 che deve ancora entrare nella zona di estrusione 77 e poiché la torsione in
10 corrispondenza della rispettiva puleggia di rinvio 62 è nulla, fra la puleggia di rinvio 62 e la zona di estrusione si ha, alternatamente nei due sensi, un accumulo di torsione. Con l'avanzamento della fibra ottica 3 nella zona di estrusione 77, la torsione accumulata si sottrae alla torsione imposta (dall'elemento centrale 4) e la torsione risultante sulla fibra ottica 3 risulta quindi
15 minore della torsione dell'elemento centrale 4.

La torsione locale massima che può essere applicata alle fibre ottiche 3 dipende dalla distanza L delle pulegge di rinvio 62 dalla zona di estrusione 77, dalla velocità di avanzamento v lungo la direzione di lavorazione 30, dalla velocità angolare di torsione ω e dall'angolo di rotazione massimo α'_{\max} del
20 dispositivo di torsione 28. In particolare, diminuendo la distanza L aumenta la torsione per unità di lunghezza accumulata sulle fibre ottiche 3 fra le pulegge 62 e la zona di estrusione 77, mentre aumentando L si ottiene l'effetto opposto. La distanza delle pulegge dalla zona di estrusione 77 e gli parametri precedentemente indicati possono quindi essere regolati in funzione della
25 torsione locale massima desiderata delle fibre ottiche 3.

Secondo una possibile variante non illustrata, le pulegge 92 possono essere motorizzate per applicare alle fibre ottiche 3 una torsione controllata sostanzialmente indipendente dalla torsione delle fibre ottiche 3 stesse conferita tramite la torsione dell'elemento centrale 4.

30 Il cavo ottico 2 uscente dall'estrusore 65 viene alimentato alla prima vasca di raffreddamento 66, dove il nucleo ottico 2 viene raffreddato in rendere stabile il materiale polimerico d Il strato 5, e, all'interno di esso, le fibre ottiche 3.

- 30 -

Con il successivo passaggio del nucleo ottico 2 attraverso il secondo estrusore 84 e la seconda vasca di raffreddamento 85, viene applicata (in modo noto) la guaina 6. Il nucleo ottico 2 provvisto di guaina 6 viene quindi avvolto, dopo essere transitato nel dispositivo di tirata 86 e sul dispositivo accumulatore 88, sulla bobina di raccolta 87.

Risultati sperimentali

L'apparato di fabbricazione 20 (figura 6) è stato utilizzato per produrre nuclei ottici 2 di tipo diverso, le cui caratteristiche fondamentali sono riportate nella seguente tabella 1, dove Rif. indica il codice di riferimento associato a ciascun nucleo ottico, N il numero fibre ottiche 3 presenti nel nucleo ottico, via velocità di avanzamento lungo la direzione di lavorazione 30 imposta dal dispositivo di tirata 86, P il passo di avvolgimento (pari al doppio del passo di inversione P) e α_{max} il massimo angolo di avvolgimento.

TABELLA 1

Rif.	N	V (m/min)	P (mm)	α_{max}
SZ 1	4 (Fos)	20	1200	200°
SZ 2	8 (4 Fos+ 4 Lucent)	20	1200	200°
SZ 3	8 (Fos)	20	800 +1000	720°
SZ 4	8 (Fos)	20	1000	360°
SZ 5	8 (5Fos+3Lucent)	50	1500	360°

I nuclei ottici 2 di tabella 1 sono stati prodotti a partire da fibre ottiche 3 tipo NZD ("Non Zero Dispersion") adatte per applicazioni in sistemi di telecomunicazione di tipo DWDM. In particolare, come indicato in tabella 1, sono state utilizzate fibre ottiche di un primo tipo prodotto dalla ditta Fos e contraddistinte dalla sigla commerciale FOAS e fibre di un secondo tipo prodotto dalla ditta Lucent e contraddistinte dalla sigla commerciale TrueWave®. Le fibre ottiche 3 utilizzate hanno un diametro esterno pari a circa 255 μm e presentano

- 31 -

un primo rivestimento acrilico ed un secondo rivestimento acrilico colorato con spessore pari a circa 6 μ m.

L'elemento centrale 4 utilizzato per la produzione dei nuclei ottici 2 è di acciaio e presenta un diametro esterno pari a circa 0,65 mm.

- 5 Il materiale polimerico utilizzato per realizzare lo strato polimerico 5 è di tipo Hytrel® G3548 e presenta un "Melt Flow Index" pari a 10 e una durezza Shore D pari a 35.

Vengono di seguito presentati i parametri di processo comuni a tutti i singoli processi per l'ottenimento dei nuclei ottici 2 di tabella 1.

- 10 I dispositivi accumulatori 27 e 61 sono stati regolati in modo da ottenere una tensione sull'elemento centrale 4 pari a circa 5 kg e, rispettivamente, una tensione sulle fibre ottiche 3 pari a circa 200 g.

- 15 Le pulegge di rinvio 62 sono state posizionate in modo da avere un angolo di alimentazione delle fibre ottiche 3 all'estrusore 65, misurato rispetto alla direzione di lavorazione 30, pari a circa 1,5°.

I parametri dimensionali dell'estrusore 65 (figura 11) sono i seguenti:

- diametro apertura 72: 2,9 mm;
- lunghezza apertura 72: 4 mm;
- lunghezza corpo centrale 69: 15 mm;
- 20 - diametro esterno prima estremità 73 del corpo centrale 69: 1,8 mm.

- 25 Inoltre, la pressione di iniezione del materiale polimerico nella zona di estrusione 77 attraverso i canali 75 è stata scelta pari a circa 40 bar e la temperatura di estrusione del materiale polimerico è stata imposta pari a circa 240 °C. Nella vasca di raffreddamento 66, la temperatura dell'acqua è stata mantenuta pari a circa 70°C.

- 30 Per un confronto diretto con altre tecnologie costruttive, sono stati prodotti nuclei ottici di tipo diverso, utilizzando gli stessi materiali e le stesse fibre 3 impiegate per la fabbricazione dei nuclei ottici di tabella 1. Un primo tipo di nucleo ottico diverso da quello dell'invenzione è stato realizzato mediante l'estrusione, su un elemento centrale, di un singolo strato polimerico in cui le fibre sono disposte fra loro parallele. I nuclei ottici prodotti secondo la suddetta tecnica verranno in seguito indicati con il termine PU (Passaggio Unico) seguito da un numero progressivo. In particolare, con

tale tecnica sono stati realizzati un nucleo ottico PU2 comprendente le stesse fibre ottiche del nucleo ottico SZ2 e un nucleo ottico PU3 comprendente le stesse fibre ottiche dei nuclei ottici SZ3 e SZ4.

Un secondo tipo di nucleo ottico diverso da quello dell'invenzione è stato
5 realizzato con una tecnica corrispondente a quella descritta nella domanda di brevetto EP 97121295.6 depositata il 4 Dicembre 1997 a nome della stessa Richiedente. Tale tecnica prevede la deposizione delle fibre ottiche tangenzialmente ad un supporto preventivamente rivestito e pre-riscaldato ad opportuna temperatura e parallelamente all'asse di tale supporto. I nuclei ottici
10 prodotti secondo la suddetta tecnica verranno in seguito indicati con il termine DPS seguito da un numero progressivo. In particolare, con tale tecnica sono stati realizzati un nucleo ottico DPS1 comprendente le stesse fibre ottiche del nucleo ottico SZ1, un nucleo ottico DPS2 comprendente le stesse fibre ottiche del nucleo ottico SZ2 e un nucleo ottico DPS3 comprendente le stesse fibre
15 ottiche dei nuclei ottici SZ3 e SZ4.

Al fine di verificare gli effetti in termini di PMD del cablaggio, un campione lungo 900 m di ciascun nucleo ottico è stato sottoposto, prima delle misure di PMD, ad un trattamento con l'apparecchiatura 90 (figura 15) che permette appunto di simulare gli effetti della cablatura. Tale trattamento è stato
20 eseguito utilizzando porzioni di nuclei ottici lunghe 900 m.

Il trattamento con l'apparecchiatura 90 è stato condotto nelle seguenti condizioni:

- tiro di svolgimento: 3 kg;
- tiro di raccolta: 3 kg;
- 25 - velocità di linea: 2,5 m/min;
- temperatura nel forno 92: 100°C; e
- diametro di raccolta sulla bobina 96 (avvolgimento unico): 1 m.

Al fine di poter verificare, nelle successive misure di PMD, l'influenza dei soli effetti termici del cablaggio, ulteriori campioni lunghi 900 m di ciascun nucleo ottico
30 uguali ai precedenti sono stati immagazzinati su bobina dopo essere stati fatti transitare nell'apparecchiatura 90 con il forno 92 spento, mantenendo una temperatura ambiente pari a circa 20° con le seguenti condizioni:

- 33 -

- tiro di svolgimento: 3 kg;
- tiro di raccolta: 3 kg;
- velocità di linea: 10 m/min; e
- diametro di raccolta sulla bobina 96 (avvolgimento unico): 1m.

5 Ciascun campione preparato nei due modi descritti, dopo essere stato raccolto su bobina, è stato sottoposto a una misura di PMD. Le misure di PMD su campioni sottoposti a trattamento a 100° verranno di seguito identificate con [100°C] mentre le misure condotte su campioni immagazzinati a 20° verranno di seguito identificate con [20°C].

10 Tutte le misure di PMD sono state effettuate alla lunghezza d'onda di 1550 nm, utilizzando un dispositivo interferometrico per la misura di PMD, modello IQ 206 prodotto dalla ditta EXFO, comprendente:

- una sorgente IQ 2100;
- un selettore IQ 5550; e

15 - un analizzatore 5500.

I risultati delle misure di PMD sono riportati, nelle tabelle 2, 3 e 4 che seguono, nelle quali sono stati fra loro raggruppati i nuclei ottici comprendenti lo stesso tipo di fibre ottiche. In particolare, in ciascuna delle tabelle 2, 3 e 4 sono indicati i valori medi e massimi della PMD delle fibre ottiche utilizzate, e i valori medi e massimi delle misure [20°C] e [100°C]. Ai fini del presente brevetto, i valori di PMD delle fibre ottiche sono valori misurati su una porzione di fibra ottica di 1 km avvolta su bobina con tiro nullo e su singolo strato.

TABELLA 2

25

Rif.	PMD med. fibra	PMD max. fibra	PMD med. nucleo [20°]	PMD max. nucleo [20°]	PMD med. nucleo [100°]	PMD max. nucleo [100°]
SZ1	0,77	0,1	0,068	0,074	0,089	0,118
DPS1	0,77	0,1	0,082	0,104	0,16	0,179

30

- 34 -

TABELLA 3

Rif.	PMD med. fibra	PMD max. fibra	PMD med. nucleo [20°]	PMD max. nucleo [20°]	PMD med. nucleo [100°]	PMD max. nucleo [100°]
SZ2	0,058	0,1	0,067	0,081	0,083	0,14
PU2	0,058	0,1	0,083	0,127	0,167	0,331
DPS2	0,058	0,1	0,095	0,143	0,124	0,157

5

TABELLA 4

Rif.	PMD med. fibra	PMD max. fibra	PMD med. nucleo [20°]	PMD max. nucleo [20°]	PMD med. nucleo [100°]	PMD max. nucleo [100°]
SZ3	0,065	0,08	0,06	0,066	0,055	0,057
SZ4	0,065	0,08	Non rilevato	Non rilevato	0,06	0,067
PU3	0,065	0,08	0,063	0,078	0,127	0,227
DPS3	0,065	0,08	0,088	0,153	0,092	0,105

- 10 Dall'esame dei risultati riportati nelle tabelle 2, 3 e 4 si deduce che i nuclei ottici prodotti secondo la presente invenzione presentano prestazioni significativamente migliori in termini di PMD rispetto a nuclei ottici realizzati con le altre tecniche indicate. Da un confronto delle prove a 20°C e quelle a 100°C, risulta inoltre che l'effetto della contrazione strutturale del nucleo ottico
- 15 successivo al trattamento termico a 100°C è particolarmente contenuto. Inoltre, si osserva che angoli di avvolgimento superiori a 360° non migliorano in modo significativo i risultati che si ottengono con angoli pari a circa 360°.

- Ulteriori misure di PMD sono state condotte su cavi ottici del tipo mostrato in figura 1 ottenuti a partire da nuclei ottici di tipo SZ2 e SZ5, indicati
- 20 con CAVO_{SZ2} e CAVO_{SZ5}. I valori di PMD misurati sono riportati nella seguente tabella 5.

- 35 -

TABELLA 5

Rif.	PMD med. fibra	PMD max. fibra	PMD med. cavo	PMD max. cavo
CAVO ₈₂	0,058	0,100	0,062	0,103
CAVO ₈₅	0,052	0,075	0,028	0,043

5

I risultati di tabella 5 confermano i risultati ottenuti in precedenza. In particolare, dai dati della tabella 5 risulta che la PMD misurata su un cavo secondo l'invenzione risulta inferiore a 110% della PMD misurata su una fibra ottica non cablata dello stesso tipo di quelle utilizzate nel cavo.

10

La figura 16 riporta i risultati di misure di attenuazione spettrale di segnale realizzate con il metodo noto nella tecnica come "cut-back", utilizzando lo strumento Photon Kinetics modello 2200. La curva 101 è relativa ai valori medi rilevati in misure condotte su fibre ottiche non cablate di tipo Fos e Lucent dello stesso tipo utilizzato per realizzare i nuclei ottici dell'invenzione. La curva 102 è relativa ai valori medi rilevati in più misure condotte su un cavo realizzato secondo l'invenzione. La curva 103 è relativa ai valori medi rilevati in più misure condotte su un cavo realizzato con due strati di materiale polimerico e deposizione tangenziale (cavo DPS).

15

20

Come si può osservare, i cavi realizzati secondo l'invenzione permettono mediamente di ottenere valori di attenuazione più bassi e più vicini a quelli relativi alle fibre ottiche non cablate rispetto ai cavi realizzati con il doppio strato e deposizione tangenziale.

- 36 -

RIVENDICAZIONI

- 5 1. Procedimento per la realizzazione di un cavo ottico (1), comprendente la fase di inglobare almeno una fibra ottica (3) in un materiale polimerico estruso a contatto con un elemento filiforme (4), caratterizzato dal fatto che detta fase di inglobare in un materiale polimerico comprende le fasi di:
- disporre detta fibra ottica (3) secondo una traiettoria ad elica aperta, e
 - applicare a detta fibra ottica (3) una torsione locale massima compresa fra 0,05 giri/m e 1,5 giri/m.
- 10 2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta fase di inglobare in un materiale polimerico comprende la fase di applicare a detta fibra ottica (3) una torsione locale massima compresa fra 0,1 giri/m e 1 giri/m.
- 15 3. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta fase di inglobare in un materiale polimerico comprende la fase di applicare a detta fibra ottica (3) una torsione media nulla.
- 20 4. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta fase di inglobare in un materiale polimerico comprende le fasi di:
- avanzare detto elemento filiforme (4) attraverso una zona di estrusione (77) lungo una direzione di avanzamento prestabilita;
 - avanzare attraverso detta zona di estrusione detta fibra ottica (3) a
- 25 distanza prefissata da detto elemento filiforme (4), e
- alimentare in detta zona di estrusione (77) detto materiale polimerico in modo tale che detto materiale polimerico inglobi detto elemento filiforme e detta fibra ottica.
- 30 5. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta fase di inglobare in un materiale polimerico comprende la fase di inglobare in detto materiale polimerico un numero di fibre ottiche compreso fra 2 e 24.

- 37 -

- 5 6. Procedimento secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta fase di disporre detta fibra ottica (3) secondo una traiettoria ad elica aperta comprende la fase di impartire una torsione alternata a detto elemento filiforme (4).
- 10 7. Procedimento secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta fase di avanzare attraverso detta zona di estrusione detta fibra ottica (3) comprende le fasi di vincolare (62) alla torsione detta fibra ottica a monte di detta zona di estrusione (77) ad una distanza prestabilita da detta zona di estrusione e detta fase di applicare a detta fibra ottica (3) una torsione locale massima comprende la fase di regolare detta distanza di detto vincolo da detta zona di estrusione in funzione di detta torsione locale massima.
- 15 8. Procedimento secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detta fase di impartire una torsione alternata a detto elemento filiforme (4) comprende la fase di impartire a detto elemento filiforme una velocità angolare (ω) prestabilita e un angolo massimo di torsione (α'_{max}) prestabilito e detta fase di avanzare detto elemento filiforme comprende la fase di
- 20 traslare detto elemento filiforme con una velocità di avanzamento (v) prestabilita, detta fase di applicare a detta fibra ottica (3) una torsione locale massima comprende la fase di regolare detta velocità angolare, detto angolo massimo di torsione o detta velocità di avanzamento in funzione di detta torsione locale massima.
- 25 9. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta fase di disporre detta fibra ottica (3) secondo una traiettoria ad elica aperta comprende la fase di associare a detta traiettoria un passo di inversione spaziale (P) compreso fra 0,5 m e 5 m.
- 30 10. Procedimento secondo la rivendicazione 4, in cui detta fase di avanzare detta fibra ottica (3) in detta zona di estrusione (77) comprende la fase di

- 38 -

convogliare detta fibra ottica verso detta zona di estrusione tramite un supporto (69) provvisto di canali (71) e attraversato centralmente da detto elemento filiforme (4).

- 5 11. Cavo ottico (1) per telecomunicazioni, comprendente un elemento centrale (4) sostanzialmente filiforme, almeno una fibra ottica (3) e uno strato di materiale polimerico (5) sostanzialmente privo di discontinuità inglobante detto elemento centrale (4) e detta fibra ottica, detta fibra ottica (3) essendo disposta secondo una traiettoria a elica aperta.
- 10
12. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detta fibra ottica (3) presenta, lungo la rispettiva traiettoria a elica aperta, una torsione scelta in modo tale che la PMD misurata su detto cavo risulti inferiore a 110% della PMD misurata su una fibra ottica non cablata dello stesso tipo.
- 15
13. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detta fibra ottica (3) presenta, lungo la rispettiva traiettoria a elica aperta, una torsione locale massima compresa fra 0,05 giri/m e 1,5 giri/m.
- 20
14. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detta fibra ottica (3) presenta, lungo la rispettiva traiettoria a elica aperta, una torsione locale massima compresa fra 0,1 giri/m e 1 giri/m.
- 25
15. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detta fibra ottica (3) presenta, lungo la rispettiva traiettoria a elica aperta, una torsione media nulla.
16. Cavo secondo la rivendicazione 11, comprendente un numero di fibre ottiche compreso fra 2 e 24.
- 30
17. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detta fibra ottica (3) presenta, lungo la rispettiva traiettoria ad elica aperta, un angolo di avvolgimento massimo (α_{max}) minore o uguale, in valore assoluto, di 360°, e un angolo di

- 39 -

torsione massimo (β_{\max}) minore, in valore assoluto, di detto angolo di avvolgimento massimo.

- 5 18. Cavo secondo la rivendicazione 17, in cui detto angolo di torsione massimo (β_{\max}) è compreso fra 90° e 270° .
- 10 19. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui intorno a detta fibra ottica (3) è presente uno spessore di materiale polimerico omogeneo maggiore o uguale di 0,10 mm.
- 15 20. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detta traiettoria ad elica aperta presenta un passo di inversione (P) compreso fra 0,5 m e 5 m.
- 20 21. Cavo secondo la rivendicazione 11, comprendente una pluralità di fibre ottiche (3) definente una corona di fibre ottiche equidistanziate fra loro e disposte ad una stessa distanza da un asse (10) di detto cavo (1).
- 25 22. Cavo secondo la rivendicazione 21, in cui detta distanza di dette fibre ottiche (3) da detto asse (10) è compresa fra 0,4 mm e 1,2 mm.
- 30 23. Cavo secondo la rivendicazione 11, comprendente una pluralità di fibre ottiche (3) definente una prima corona (15) di fibre ottiche equidistanziate fra loro e disposte ad una prima distanza da un asse (10) di detto cavo (1) e una seconda corona (16) di fibre ottiche equidistanziate fra loro e disposte ad una seconda distanza da detto asse (10) maggiore di detta prima distanza.
24. Cavo secondo la rivendicazione 23, in cui detta prima distanza è compresa fra 0,4 mm e 0,8 mm e detta seconda distanza è compresa fra 0,9 mm e 1,2 mm.

31-03-1999

EP99106565.7

SPEC

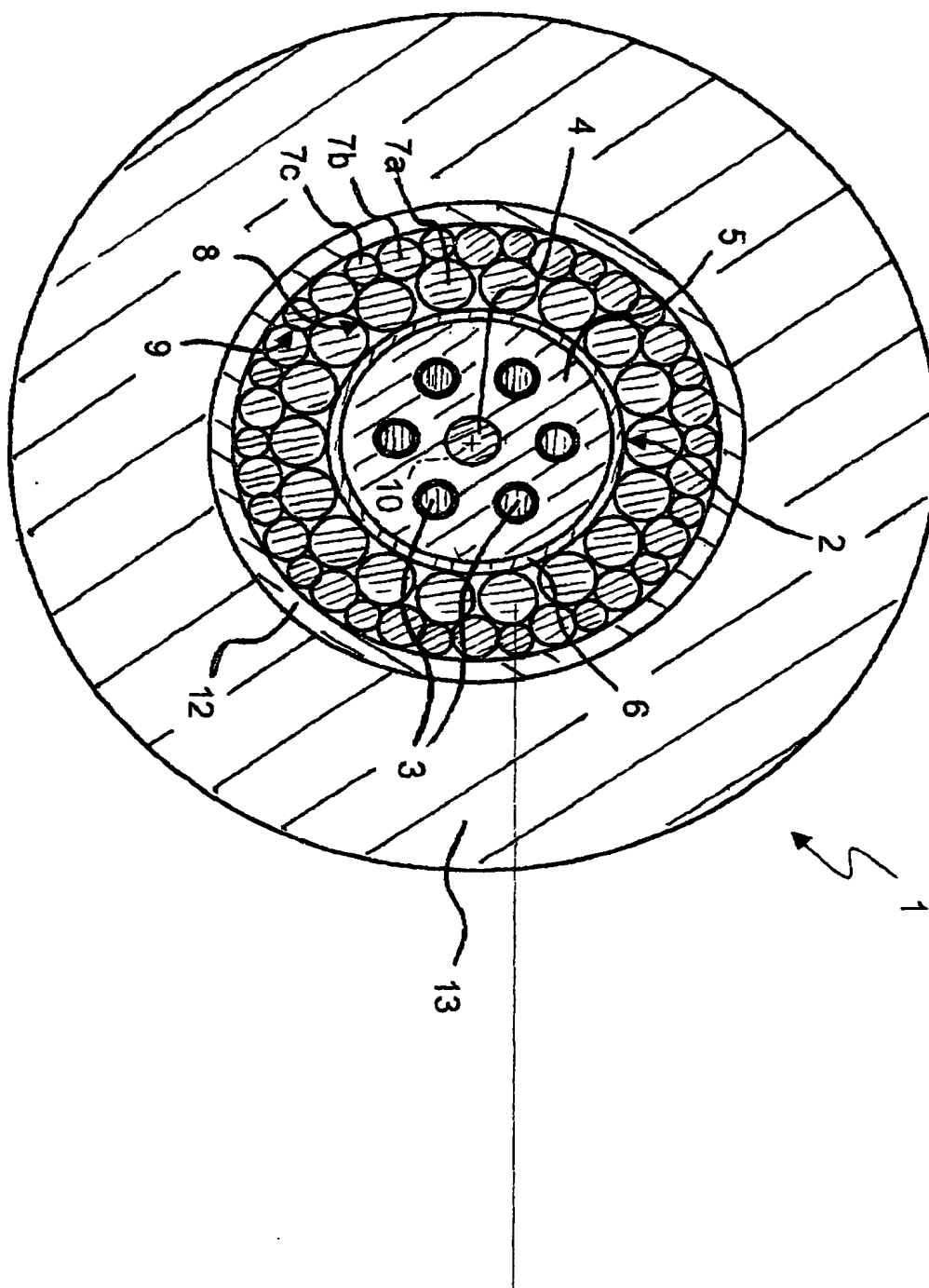
- 40 -

25. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detto strato di materiale polimerico (5) presenta uno spessore compreso fra 0,9 mm e 1,5 mm.
26. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detto elemento centrale (4) presenta un diametro compreso fra 0,5 mm e 0,7 mm.
27. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detta fibra ottica (3) ha un diametro esterno minore di 400 μm .
28. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detta fibra ottica (3) ha un diametro esterno minore di 270 μm .
29. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui detto materiale polimerico presenta un modulo a flessione compreso fra 20 Mpa e 70 Mpa, una durezza "Shore" D compresa fra 15 e 70 ed un "Melt Flow Index" compreso fra 5 e 15.
30. Cavo secondo la rivendicazione 11, comprendente una guaina (6) disposta intorno a detto strato di materiale polimerico (5), detta guaina (6) essendo realizzata in un materiale scelto nel gruppo comprendente polialchilentereftalati, poliolefine e poliammidi.

PC802

1/11

Fig. 1



PC802

2/11

FIG. 2

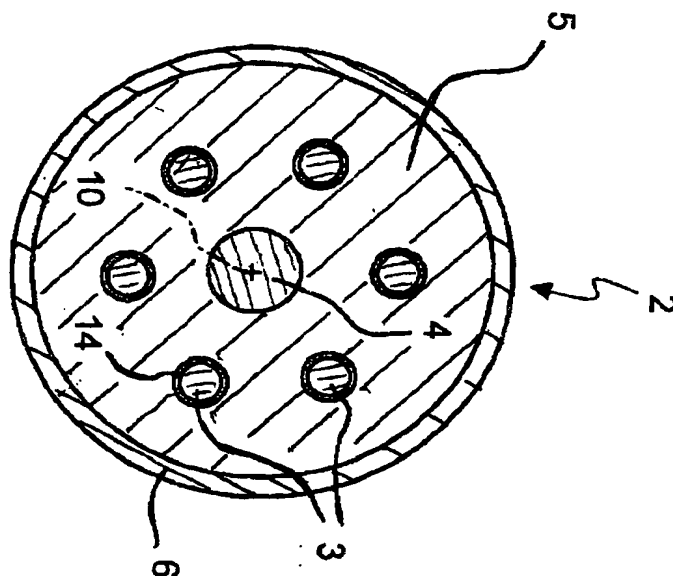
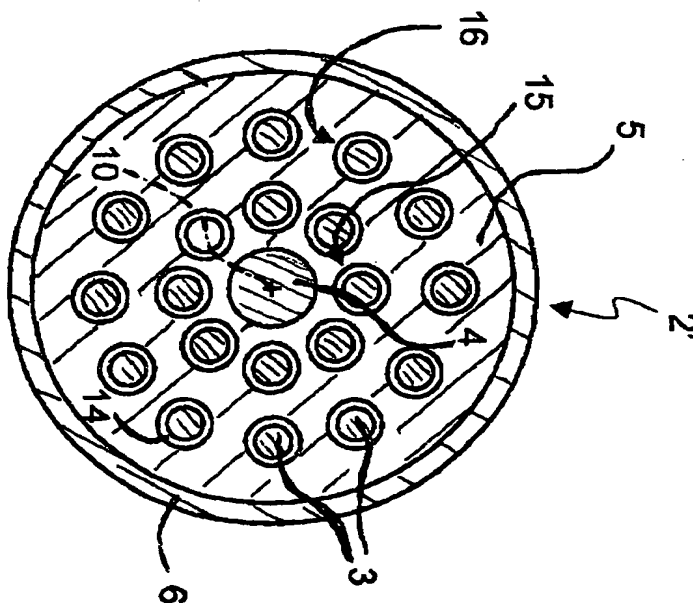


FIG. 3



3/11



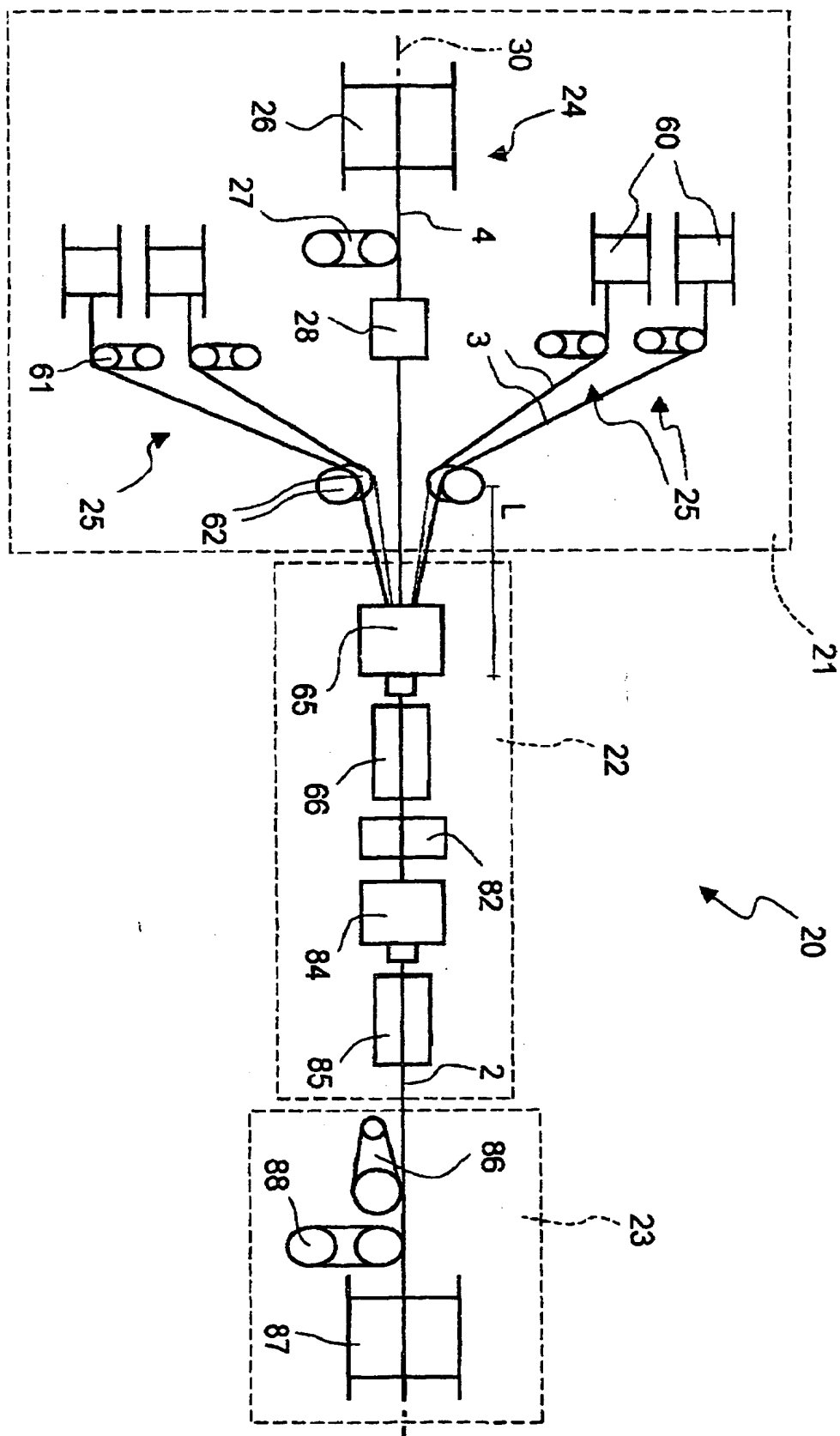
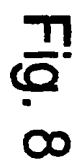
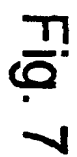


FIG. 6

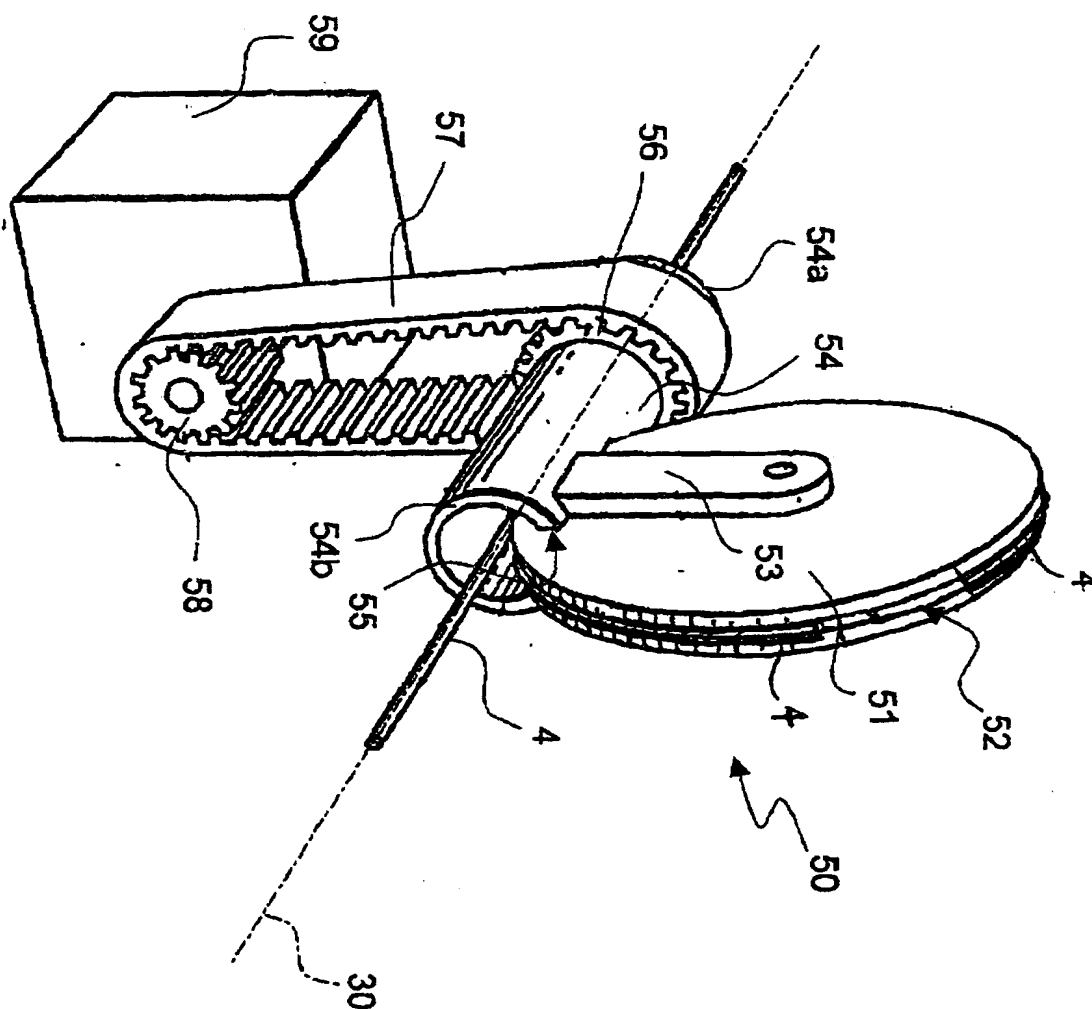
5/11



PC802

6/11

FIG. 9



31-03-1999

EP99106565.7

SPEC

PC802

7/11

FIG. 10

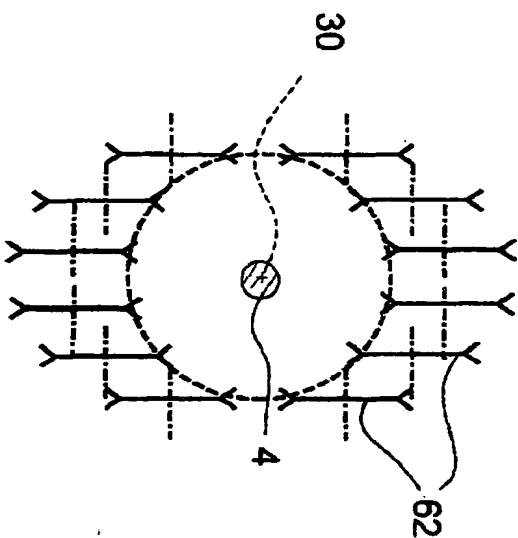
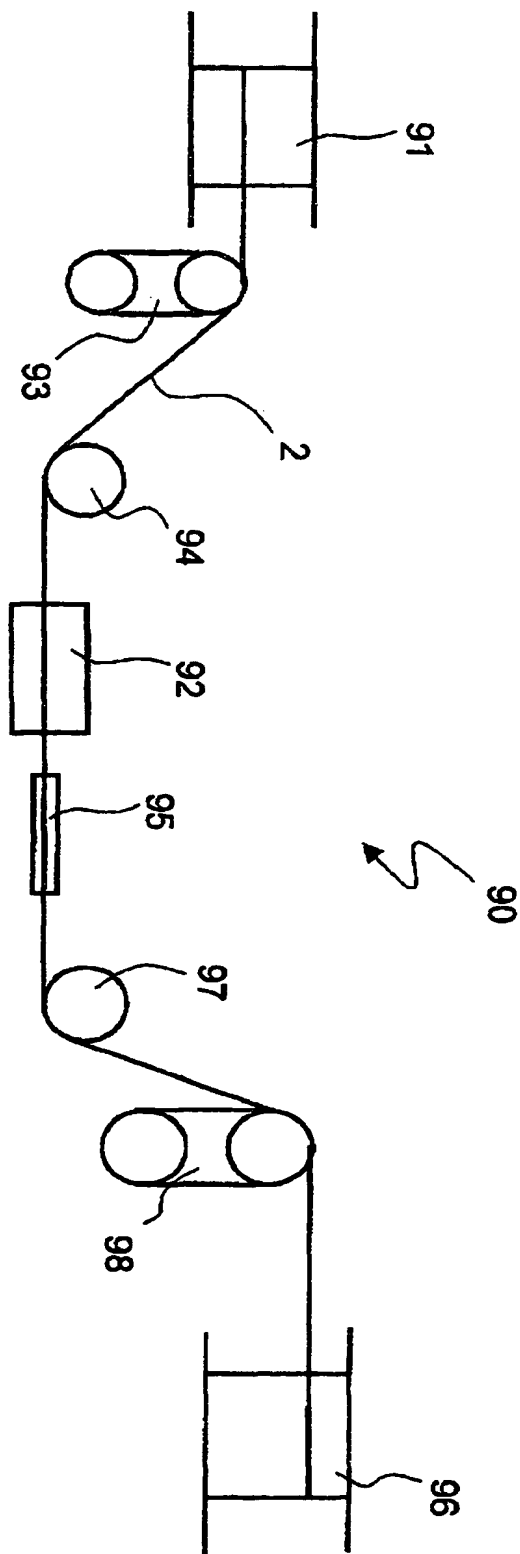


FIG. 15



PC802

8/11

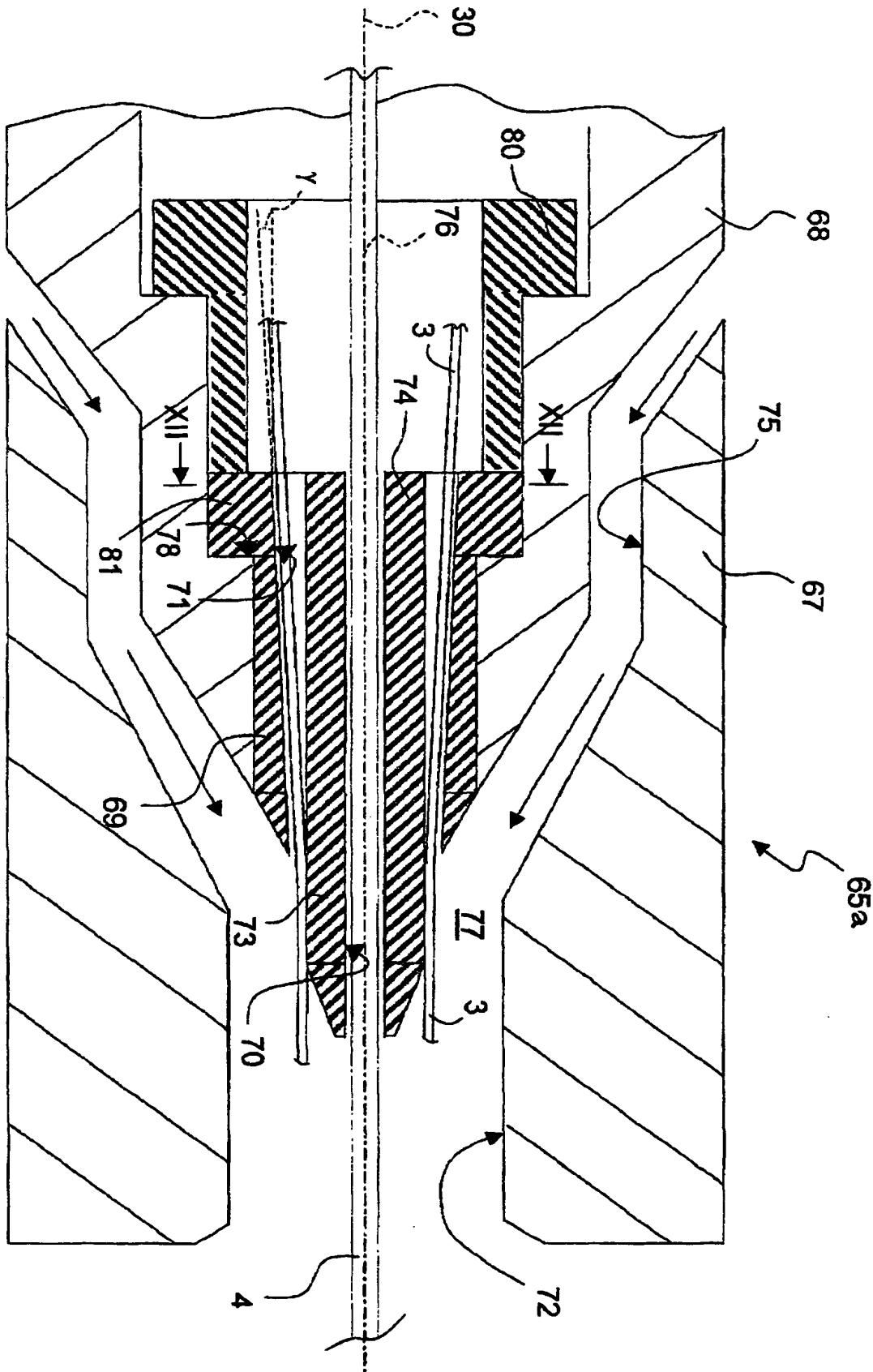


FIG. 11

PC802

9/11

FIG. 12

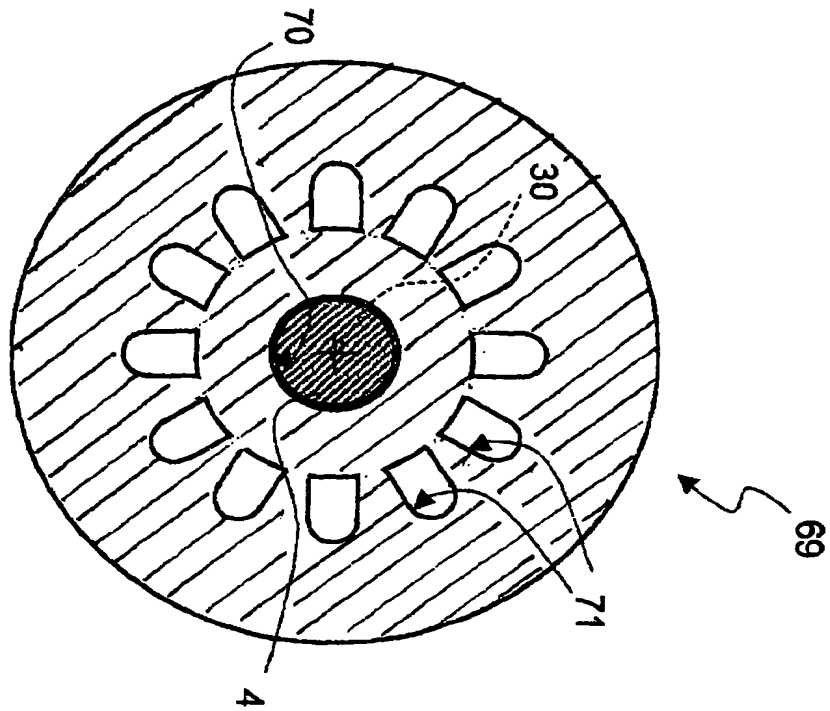
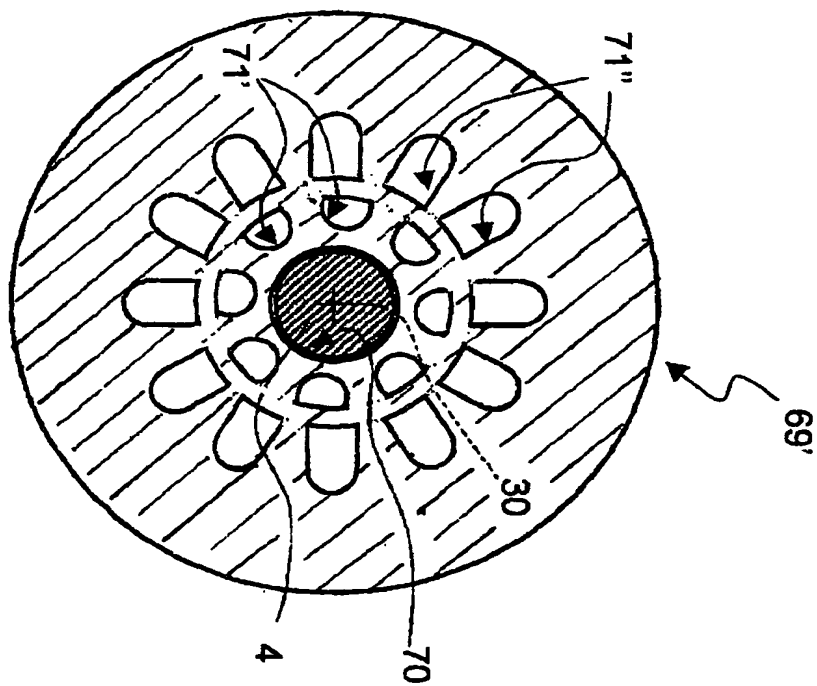


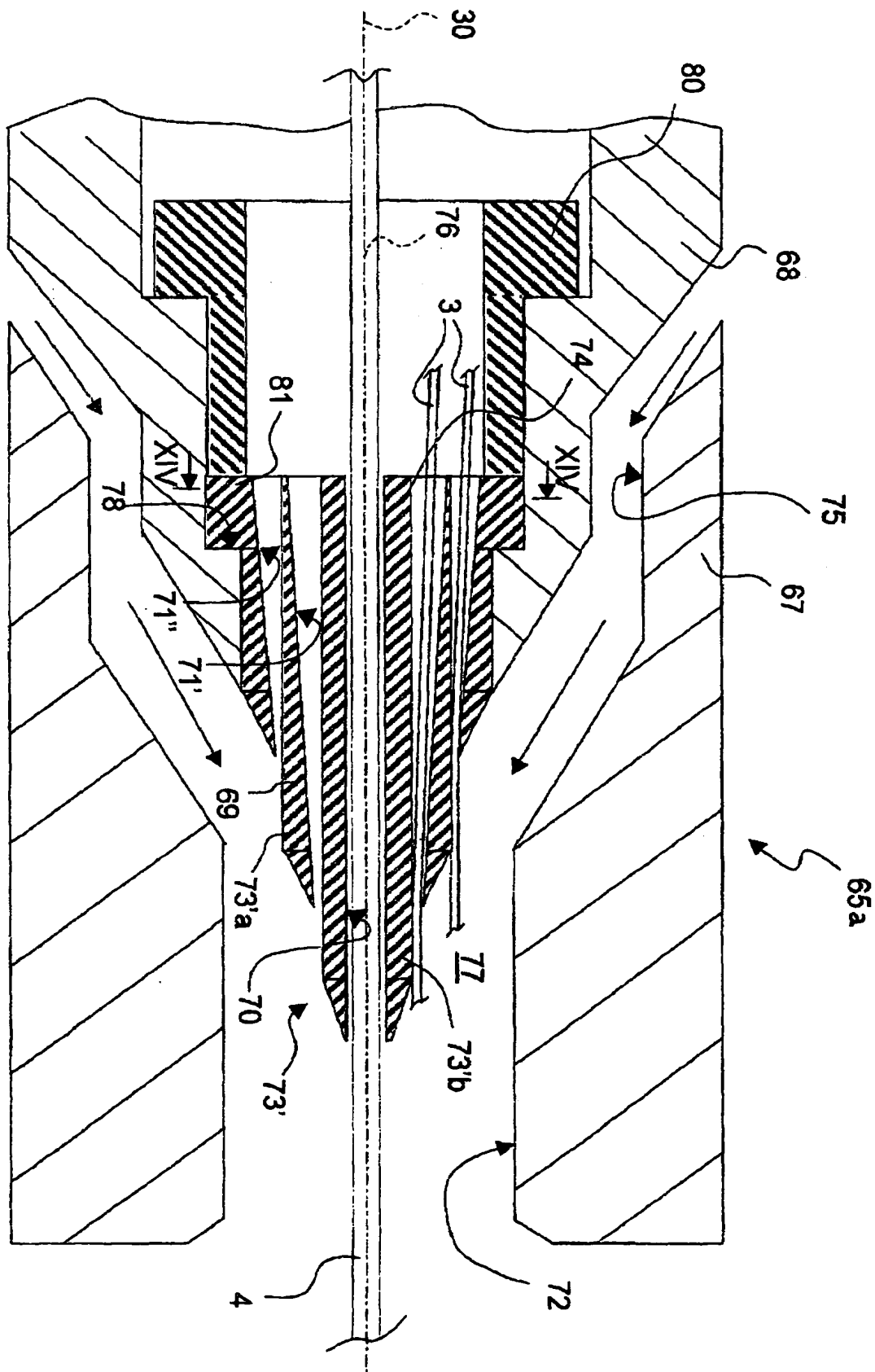
FIG. 14



PC802

10/11

Fig. 13



PC802

11/11

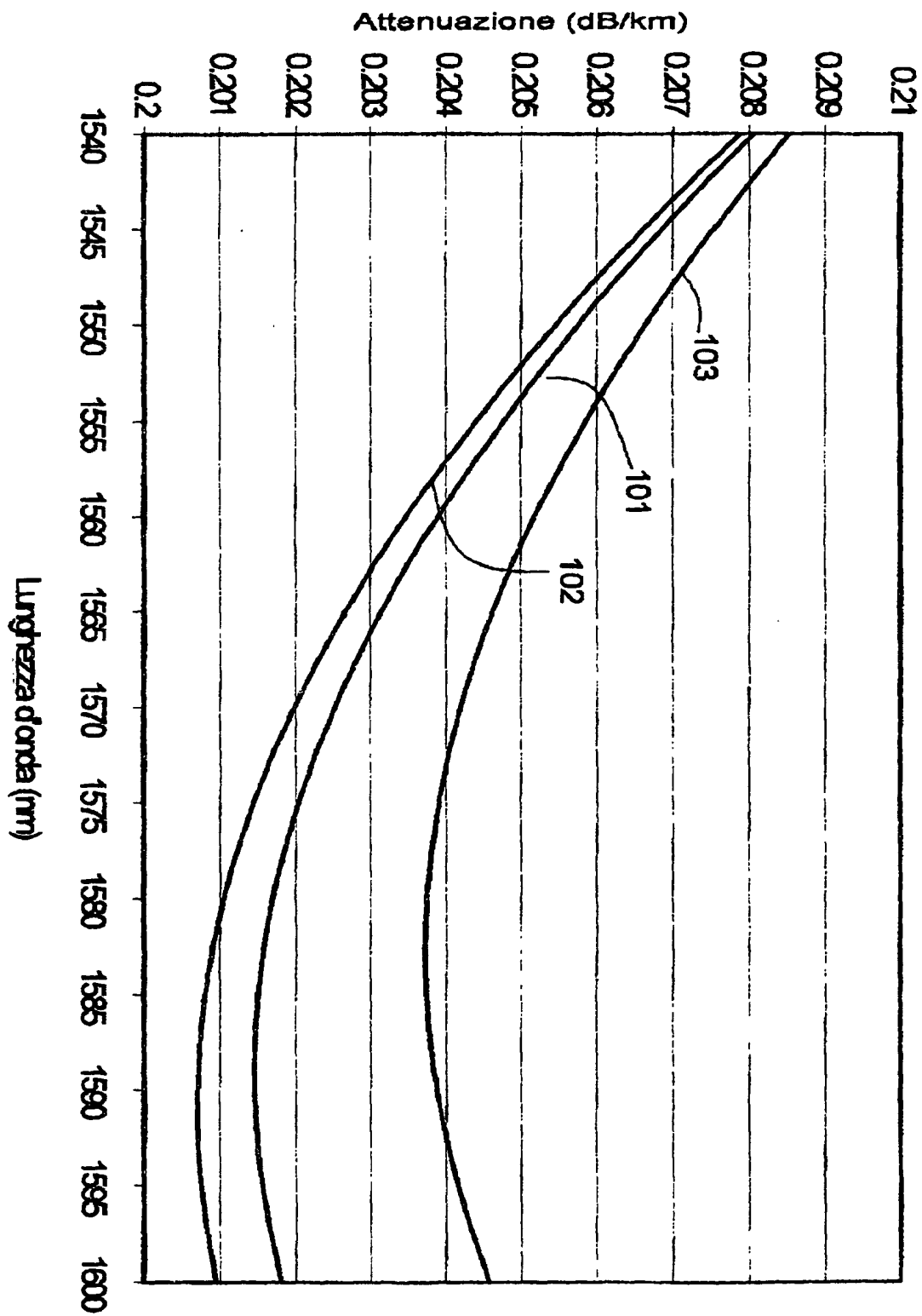


Fig. 16

31-03-1999

EP99106565.7

SPEC

- 41 -

RIASSUNTO

Cavo ottico (1) per telecomunicazioni avente valori di PMD e attenuazione
5 ridotti, comprendente un elemento centrale (4), una pluralità di fibre ottiche (3) e
uno strato di materiale polimerico (5) privo di discontinuità inglobante sia
l'elemento centrale (4) sia le fibre ottiche, ciascuna delle fibre ottiche (3)
essendo disposta secondo una traiettoria a elica aperta lungo la quale presenta
una torsione il cui valore medio è nullo e il cui valore massimo locale è
10 compreso fra 0,05 giri/m e 1,5 giri/m.

Fig. 2